



GROUPE D'ETUDES ET D'OBSERVATION
SUR LES DRAGAGES ET L'ENVIRONNEMENT

Bonnes pratiques pour la caractérisation des matériaux en vue d'une opération de dragage et d'immersion en milieu marin et estuarien

Novembre 2016





GEODE

Guide rédigé par





Table des matières

1.	Introduction	1
2.	Etape 1 : Compréhension de la démarche	3
2.1	Le référentiel en vigueur	3
2.1.1	La circulaire du 14 juin 2000	3
2.1.2	L'arrêté du 9 août 2006	3
2.2	Caractériser les matériaux de dragage : une étape préliminaire essentielle dans la démarche de projet	6
2.2.1	Préciser le cadre réglementaire de l'opération	6
2.2.2	Affiner le projet technique	7
2.2.3	Préparer l'évaluation environnementale de l'opération	8
2.3	Les points-clés à considérer	8
2.3.1	Informations à collecter	8
2.3.2	Cadrage préalable avec les services de la police de l'eau	10
2.3.3	Coordination avec les autres études techniques et intégration dans le planning des études	11
3.	Etape 2 : Définition de la stratégie d'échantillonnage	12
3.1	Considérations générales	12
3.2	Campagne d'échantillonnage	12
3.2.1	Le plan d'échantillonnage	14
3.2.2	Effort d'échantillonnage	16
3.3	Exemples de plans d'échantillonnage	18
4.	Etape 3 : Réalisation des prélèvements et conditionnement des échantillons	23
4.1	Moyens de prélèvement	23
4.1.1	Prélèvement de sédiments superficiels	23
4.1.2	Prélèvement de carottes	25
4.1.3	Moyens logistiques associés	28
4.1.4	Influence du mode de prélèvement sur l'intégrité de l'échantillon	28
4.2	Echantillonnage	30
4.2.1	Poids des échantillons pour les analyses	30
4.2.2	Modes d'échantillonnage et quantités d'échantillons élémentaires	30
4.2.3	Mélange de l'échantillon moyen	31
4.2.4	Précautions relatives à la prévention de la contamination des échantillons	31



4.3	Préparation et conservation des échantillons.....	32
4.3.1	Flaconnage	32
4.3.2	Conditionnement et transport des échantillons vers le laboratoire.....	32
5.	Etape 4 : Analyses à mener au regard de la réglementation et du contexte local	34
5.1	Propriétés physiques de base.....	34
5.2	Paramètres chimiques de base	35
5.3	Autres paramètres dépendant du contexte local	35
5.3.1	Nutriments	36
5.3.2	Microbiologie.....	36
5.3.3	Phytoplancton (kystes)	36
5.3.4	Radionucléides	37
5.3.5	Substances chimiques spécifiques	38
5.3.6	Paramètres supplémentaires de la DCE et de la DCSMM.....	39
5.3.7	Cas particulier des tests d'écotoxicité	40
5.3.8	Macro-déchets.....	43
6.	Etape 5 : Réalisation des analyses	44
6.1	Capacités des laboratoires d'analyse.....	44
6.1.1	Notions d'accréditation et d'agrément	44
6.1.2	Notions de limites de détection et de quantification	45
6.1.3	Cas particulier des analyses de radionucléides.....	46
6.1.4	Cas particulier des analyses de phytoplancton toxique	47
6.1.5	Cas particulier des analyses d'écotoxicité	47
6.1.6	Synthèse des critères d'évaluation des capacités des laboratoires pour la réalisation d'analyses sur des sédiments marins ou estuariens	47
6.2	Choix des méthodes d'analyses	47
6.2.1	Normes et méthodes internes	48
6.2.2	Méthodes d'analyse de paramètres physiques et chimiques	49
6.2.3	Méthodes d'analyse de microorganismes	49
6.2.4	Méthodes d'analyse de radionucléides	50
6.2.5	Méthodes de tests d'écotoxicité	50
6.3	Présentation des résultats.....	53
6.4	Conservation des échantillons.....	54
6.5	Rédaction du cahier des charges.....	55
7.	Etape 6 : Interprétation et gestion des résultats	56
7.1	Présentation des résultats et traçabilité	56
7.1.1	Présentation et cartographie des résultats.....	56



7.1.2	Traçabilité des résultats.....	57
7.1.3	Diffusion des résultats d'analyse.....	57
7.2	Interprétation des résultats	58
7.2.1	Interprétation des résultats d'analyses physiques	58
7.2.2	Interprétation des résultats d'analyses chimiques	58
7.2.3	Éléments d'interprétation relatifs aux nutriments.....	62
7.2.4	Éléments d'interprétation relatifs aux germes indicateurs de contamination fécale	62
7.2.5	Éléments d'interprétation relatifs aux kystes de phytoplancton toxique	63
7.2.6	Éléments d'interprétation relatifs aux radionucléides.....	63
7.2.7	Éléments d'interprétation relatifs aux tests d'écotoxicité.....	63
7.2.8	Les résultats peuvent appeler à réaliser d'autres analyses complémentaires	64
7.3	De l'analyse géochimique des sédiments à l'évaluation environnementale de l'opération de dragage.....	65
7.3.1	Démarches générales d'évaluation des risques	65
7.3.2	Évaluation des risques environnementaux dus aux sédiments contaminés : le logiciel Géodrisk ®	66
7.3.3	Évaluation environnementale de l'opération de dragage et d'immersion.....	69
7.3.4	Évaluation des risques sanitaires.....	69



Liste des annexes

Annexe 1 : Circulaire n° 2000-62 du 14 juin 2000 relative aux conditions d'utilisation du référentiel de qualité des sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire définis par l'arrêté interministériel

Annexe 2 : Rubrique n° 4.1.3.0. de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement : dragage et/ou rejet y afférent en milieu marin

Annexe 3 : Fiche-type de prélèvement et de conditionnement des échantillons de sédiments

Annexe 4 : Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin. Définition du bon état écologique : Descripteur 8

Annexe 5 : DCE : Normes de qualité environnementale (NQE) pour les 33 substances prioritaires figurant à l'annexe X de la DCE et pour les 8 substances de la liste I de la directive 76/464

Annexe 6 : Liste des substances chimiques, des normes d'analyses et des limites de quantification associées au programme REPOM

Annexe 7 : Exemple de rapport d'analyses géochimiques de matériaux de dragage

Annexe 8 : Détail des principaux tests d'écotoxicité appliqués à l'évaluation de la qualité des sédiments de dragage



Liste des figures

Figure 1 Démarche pour la caractérisation des sédiments marins (source : adapté de Environnement Canada, 1994).....	13
Figure 2 Stratégie d'échantillonnage (source : VNF, 2012)	15
Figure 3 Schéma de principe d'un prélèvement de sédiment superficiel (à gauche) et carotté (à droite). Source : DREAL Rhône-Alpes / IDRA Environnement. Septembre 2013.....	16
Figure 4: Exemple d'une analyse préalable des secteurs à enjeux en vue de la définition d'un plan d'échantillonnage (exemple du REPOM).....	18
Figure 5 : Exemple de maillage spécifique sur un secteur confiné susceptible de présenter d'importantes variations de qualité des matériaux.	19
Figure 6 : Exemple d'un plan d'échantillonnage simple permettant une caractérisation satisfaisante d'un matériau homogène.....	20
Figure 7 : Exemple d'un plan d'échantillonnage reposant sur des prélèvements aléatoires mais représentatifs des différents faciès à draguer	21
Figure 8 : Exemple d'un plan d'échantillonnage établi en deux temps afin de caractériser au mieux l'étendue de la contamination identifiée	22
Figure 9 Illustration d'une benne de type Eckman	23
Figure 10 Illustration d'une benne de type Shipeck.....	24
Figure 11 Illustration d'une opération de carottage à la main.....	25
Figure 12 Illustration d'un carottier de type Kullenberg	26
Figure 13 Illustration d'un carottier-boîte	27
Figure 14 Protocole établi par le groupe de travail « dangerosité des sédiments » du MEEDDM pour la mesure de l'écotoxicité (paramètre HP 14) des sédiments marins et continentaux et destinés à une gestion à terre (octobre 2009).....	52
Figure 15 Démarche d'analyses des risques liés à l'immersion des boues de dragage des ports maritimes (source : C. Alzieu et F. Quiniou, IFREMER/GEODE, 2002).....	67
Figure 16 Exemple de score de risque issu du logiciel GEODRISK®	68



Liste des tableaux

Tableau 1. Extrait de l'arrêté du 06 août 2006 : <i>Tableau II. Niveaux relatifs aux éléments traces (mg/kg, poids sec, analyse sur la fraction < 2 mm)</i>	4
Tableau 2. Extrait de l'arrêté du 17 juillet 2014 : <i>Tableau III. Niveaux relatifs aux polychlorobiphényles (PCB) (µg/kg de sédiment sec analysé sur la fraction inférieure à 2 mm)</i>	4
Tableau 3. Arrêté du 8 février 2013 : <i>Tableau III bis. Niveaux relatifs aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) (µg/kg de sédiment sec analysé sur la fraction inférieure à 2 mm)</i>	5
Tableau 4. Arrêté du 17 juillet 2014 : <i>Tableau III ter. Niveaux relatifs au tributylétain (TBT) (en µg/kg d'étain dans le sédiment sec analysé sur la fraction inférieure à 2 mm)</i>	5
Tableau 5 Présentation synthétique de la rubrique 4.1.3.0. de la nomenclature (A = régime d'autorisation ; D = régime de déclaration)	6
Tableau 6 Tableau comparatif des différentes techniques de prélèvement des sédiments	29
Tableau 7 Conditions et durée de stockage au laboratoire (source : Environnement Canada) .	33
Tableau 8. Classification d'Ibouilly (en % de fractions fines < 63 micromètres).....	34
Tableau 9 concentrations en métaux de sédiments dits anciens et valeurs naturelles moyennes sur la côte de la Manche.....	61
Tableau 10 Teneurs de référence des concentrations en métaux dans des sédiments fins de différentes origines (Ifremer)	61
Tableau 11 Qualité indicative des sédiments en fonction de leur charge bactérienne (<i>E. coli</i>) .	62
Tableau 12 Exemple de spéciation du mercure dans les sédiments des vasières de l'estuaire de la Seine : concentrations en mercure total et méthylmercure.	64



Acronymes et abréviations

AMP	Aire Marine Protégée
COFRAC	Comité Français d'Accréditation
COT	Carbone Organique Total
DBT	Dibutylétain
DCE	Directive cadre sur l'eau
DCSMM	Directive cadre stratégique sur le milieu marin
DDTM	Direction départementale des territoires et de la mer
EIL	Essais techniques inter-laboratoires
ERS	Etude des risques sanitaires
ETM	Eléments-traces métalliques
GEODE	Groupe d'étude et d'observation pour les dragages et l'environnement
GPM	Grand Port Maritime
HAP	Hydrocarbure aromatique polycyclique
HBCD	Hexabromocyclododécane
LQ	Limites de quantification
MBT	Monobutylétain
MEEM	Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer
MES	Matières en suspension
NQE	Norme de qualité environnementale
OSPAR	Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est (OSPAR pour « Oslo-Paris »)
PBDE	Polybromodiphényléthers
PBT	Substances persistantes, bioaccumulables et toxiques
PCB	Polychlorobiphényles
PNAR	Programme national de réduction de la pollution
REPOM	Réseau de surveillance de la qualité des sédiments des ports maritimes
SANDRE	Secrétariat d'Administration Nationale des Données Relatives à l'Eau
SDP	Substance dangereuse prioritaire
SP	Substance prioritaire
TBT	Tributylétain
TGD	<i>Technical Guidance Document</i>
ZNIEFF	Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Floristique et Faunistique



1. Introduction

La caractérisation des **matériaux de dragage destinés à être immergés en milieu marin ou estuarien** est une obligation réglementaire dont les objectifs sont multiples :

- **Définir la situation réglementaire de l'opération de dragage et les procédures administratives à mettre en œuvre**

Les teneurs en contaminants des matériaux associées aux volumes prélevés définissent si les opérations sont soumises au régime de déclaration ou d'autorisation au titre de la loi sur l'eau. La caractérisation de ces teneurs est donc essentielle pour définir si les opérations sont soumises à l'une ou l'autre de ces deux procédures.

- **Apprécier les enjeux environnementaux de l'opération et évaluer ses effets**

La sensibilité des milieux, des populations et des usages à la mobilisation des matériaux et à leur devenir, est directement dépendante de leurs caractéristiques physico-chimiques et du degré d'exposition des différents compartiments de l'environnement considérés. La caractérisation géochimique des matériaux est une étape préalable indispensable à l'évaluation environnementale de l'opération.

- **Définir les modes de gestion des matériaux les plus appropriés**

Les filières de gestion des matériaux dragués (immersion, valorisation, traitement ou confinement des matériaux) sont déterminées notamment en fonction de leur qualité physico-chimique. La pertinence d'une immersion est appréciée en fonction de la teneur en contaminants des matériaux, de leur granulométrie (teneur résultante en MES) et des impacts prévisionnels sur l'environnement. La connaissance de la qualité des matériaux est donc nécessaire le plus en amont possible afin de définir les modes de gestion les plus appropriés à la maîtrise des effets de l'opération sur l'environnement.

- **Définir les techniques de dragage et d'immersion à mettre en œuvre**

Il peut s'avérer nécessaire d'appliquer des précautions de manipulation des matériaux dès lors que leur dispersion dans le milieu fait craindre des effets indésirables sur l'environnement du fait notamment de leur teneur en contaminants. La caractérisation préalable des matériaux permet d'évaluer les enjeux liés à leur mobilisation et de définir les méthodes de travaux les plus adéquates.

- **Contribuer à établir des références pour les suivis et dragages ultérieurs**

Les données de qualité acquises en vue d'une opération de dragage permettent de dresser un état des lieux à un instant donné. Cette caractérisation fournit un point de référence auquel les données de suivi ou les données acquises dans le cadre de futures opérations de dragage pourront être comparées, et ce afin de rendre compte de l'évolution de la qualité du milieu dans le temps.



La circulaire n° 2000-62 du 14 juin 2000 explicite les conditions d'utilisation des référentiels de qualité fixés par arrêtés interministériels et décrit **les modalités d'échantillonnage et d'analyse des sédiments marins ou estuariens en milieu naturel ou portuaire** afin :

- d'une part, de fournir des éléments de référence clairs permettant aux maîtres d'ouvrage d'optimiser leurs projets, notamment leurs opérations de dragage,
- d'autre part, d'harmoniser les interventions des services chargés du contrôle de la qualité de l'eau.

Suite à 17 ans d'application de cette circulaire sur l'ensemble des projets de dragage en France, de nombreux retours d'expériences permettent aujourd'hui d'affiner ces instructions techniques et de définir des bonnes pratiques d'exécution, au travers d'une prise en compte plus opérationnelle des spécificités de chaque projet.

Certains référentiels techniques auxquels la circulaire fait référence ont par ailleurs évolué. Ce document a pour objectif d'attirer l'attention des maîtres d'ouvrage sur ces évolutions et de les orienter vers les référentiels en vigueur.

Par ce document, le groupe GEODE souhaite mettre à disposition des acteurs techniques et administratifs des projets de dragage, un document pédagogique pour mettre en œuvre et faire évoluer les instructions de la circulaire de 2000 selon une approche pragmatique et opérationnelle.

2. Etape 1 : Compréhension de la démarche

2.1 Le référentiel en vigueur

2.1.1 La circulaire du 14 juin 2000

La circulaire n° 2000-62 du 14 juin 2000 est relative aux conditions d'utilisation du référentiel de qualité des sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire, défini par l'arrêté interministériel du 14 juin 2000, complété par les arrêtés du 9 août 2006, du 23 décembre 2009, du 8 février 2013 et du 17 juillet 2014. Elle est reproduite *in extenso* dans [l'annexe 1](#).

Son objet est d'explicitier aux services de l'Etat et de ses établissements publics, les conditions d'utilisation de ce référentiel.

Elle se compose de cinq parties et d'une annexe :

- I. - Objet de la circulaire
- II. - Présentation du référentiel de qualité
- III. - Conditions d'utilisation des seuils
- IV. - Evaluation - actualisation
- V. - Instructions générales d'échantillonnage et d'analyse des sédiments
- Annexe - Instructions techniques portant sur le prélèvement et l'analyse des déblais de dragage

2.1.2 L'arrêté du 9 août 2006

L'arrêté interministériel du 9 août 2006¹ complété par les arrêtés du 23 décembre 2009, du 8 février 2013 et du 17 juillet 2014, définit un référentiel de qualité pour la caractérisation physico-chimique des sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire.

Ce référentiel établit pour un ensemble donné de contaminants, **des seuils de classification N1 et N2** permettant de mieux apprécier l'incidence que peut avoir la mobilisation des matériaux dragués destinés à être immergés. Ces niveaux ne sont pas des seuils visant à autoriser ou à interdire de fait l'immersion des sédiments, ni des seuils d'évaluation d'une qualité environnementale du milieu. Ils constituent seulement des points de repère permettant à la fois :

- **de statuer sur le régime administratif de l'opération (déclaration ou autorisation),**
- **d'apprécier l'ampleur des incidences de l'opération projetée sur l'environnement,**
- **et donc d'orienter la destination des sédiments soit vers l'immersion, soit vers une gestion à terre.**

¹ Arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 4.1.3.0 et 3.2.1.0 de la nomenclature annexée à l'article R 214-1 du code de l'environnement. NOR : DEVO0650505A



- **Au-dessous du niveau N1** → l'impact potentiel est en principe jugé d'emblée neutre ou négligeable, les teneurs étant « normales » ou comparables au bruit de fond environnemental.
- **Entre le niveau N1 et le niveau N2** → une investigation complémentaire peut s'avérer nécessaire en fonction du projet considéré et du degré de dépassement du niveau N1.
- **Au-delà du niveau N2** → une investigation complémentaire est généralement nécessaire car des indices notables laissent présager un impact potentiel négatif de l'opération.

A noter que ces seuils peuvent être révisés et actualisés, et que de nouvelles substances pourront être couvertes dans le futur. Il est donc nécessaire de se référer aux derniers arrêtés en vigueur pour connaître les substances à prendre en compte et les niveaux associés.

Valeur des seuils réglementaires

Tableau 1. Extrait de l'arrêté du 06 août 2006 : *Tableau II. Niveaux relatifs aux éléments traces (mg/kg, poids sec, analyse sur la fraction < 2 mm).*

<i>Eléments traces</i>	<i>Niveau N1</i>	<i>Niveau N2</i>
Arsenic	25	50
Cadmium	1,2	2,4
Chrome	90	180
Cuivre	45	90
Mercurure	0,4	0,8
Nickel	37	74
Plomb	100	200
Zinc	276	552

Tableau 2. Extrait de l'arrêté du 17 juillet 2014 : *Tableau III. Niveaux relatifs aux polychlorobiphényles (PCB) ($\mu\text{g}/\text{kg}$ de sédiment sec analysé sur la fraction inférieure à 2 mm).*

	<i>Niveau N1</i>	<i>Niveau N2</i>
PCB congénère 28	5	10
PCB congénère 52	5	10
PCB congénère 101	10	20
PCB congénère 118	10	20
PCB congénère 138	20	40
PCB congénère 153	20	40
PCB congénère 180	10	20



Tableau 3. Arrêté du 8 février 2013 : *Tableau III bis. Niveaux relatifs aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ($\mu\text{g}/\text{kg}$ de sédiment sec analysé sur la fraction inférieure à 2 mm)*

HAP	Niveau 1	Niveau 2
Naphtalène	160	1 130
Acénaphène	15	260
Acénaphthylène	40	340
Fluorène	20	280
Anthracène	85	590
Phénanthrène	240	870
Fluoranthène	600	2 850
Pyrène	500	1 500
Benzo [a] anthracène	260	930
Chrysène	380	1 590
Benzo [b] fluoranthène	400	900
Benzo [k] fluoranthène	200	400
Benzo [a] pyrène	430	1 015
Di benzo [a,h] anthracène	60	160
Benzo [g,h,i] pérylène	1 700	5 650
Indéno [1,2,3-cd] pyrène	1 700	5 650

Tableau 4. Arrêté du 17 juillet 2014 : *Tableau III ter. Niveaux relatifs au tributylétain (TBT) (en $\mu\text{g}/\text{kg}$ d'étain dans le sédiment sec analysé sur la fraction inférieure à 2 mm)*

	Niveau N1	Niveau N2
TBT	100	400

2.2 Caractériser les matériaux de dragage : une étape préliminaire essentielle dans la démarche de projet

Comme indiqué dans l'introduction, la caractérisation géochimique des sédiments à draguer est essentielle pour préciser le cadre réglementaire de l'opération, affiner le projet technique et préparer l'évaluation environnementale de l'opération.

2.2.1 Préciser le cadre réglementaire de l'opération

Les articles L. 214-1 à L.214-3 du code de l'environnement instaurent le régime de déclaration ou de demande d'autorisation auprès de l'autorité administrative pour les installations, ouvrages, travaux et activités définis dans une nomenclature annexée à l'article R.214-1 du code de l'environnement.

Pour rappel², les activités de dragage et d'immersion en milieu marin sont visées par **la rubrique 4.1.3.0.** de la nomenclature : « **Dragage et / ou rejet y afférent en milieu marin** » (annexe 2). Les critères associés à cette rubrique sont :

- la composition chimique des rejets et sédiments,
- les volumes à prélever,
- la localisation des sédiments à immerger par rapport à des zones conchylicoles ou de culture marine,
- la façade maritime concernée.

Selon le référentiel en vigueur (les niveaux N1 et N2), les teneurs en certains contaminants des matériaux définissent en grande partie si les opérations sont soumises au régime de déclaration (D) ou d'autorisation (A).

Tableau 5 Présentation synthétique de la rubrique 4.1.3.0. de la nomenclature (A = régime d'autorisation ; D = régime de déclaration)

Lieu de l'opération	Volume dragué	Concentration en substances des matériaux		
		<= N1	> N1 &< N2	>= N2
Indifférent	>= 500 000 m ³	A	A	A
Atlantique – Manche – Mer du Nord <u>et</u> rejets >= 1 km cultures marines	>= 50 000 m ³	D	A	
	< 50 000 m ³		D	
	>= 5 000 m ³		D	
	< 5 000 m ³			
Autres façades <u>ou</u> rejets < 1 km cultures marines	>= 5 000 m ³	D	A	
	< 5 000 m ³		D	
	>= 500 m ³		D	
	< 500 m ³			

Sans rentrer dans le détail, le régime d'autorisation fait que le projet est soumis à examen au cas par cas pour déterminer s'il relève d'une étude d'impact et donc d'une enquête publique, impliquant une instruction d'environ 10 mois (autorisation unique). Le régime de déclaration, sans enquête publique, permet une instruction plus réduite (de l'ordre de 3 mois).

² GEODE. Rédaction des études d'impact d'opérations de dragage et d'immersion en milieu estuarien et marin. Guide méthodologique. Août 2014.



2.2.2 Affiner le projet technique

Un projet de dragage se décompose schématiquement en trois phases : l'extraction des matériaux, leur transport vers le site de dépôt (terrestre ou maritime).

Les données d'entrée servant à définir le projet sont *a minima* les suivantes :

- les volumes à draguer,
- les caractéristiques physiques et granulométriques des matériaux,
- les caractéristiques géochimiques,
- le profil environnemental et socio-économique du site.

Ces données d'entrée vont fortement conditionner :

- les moyens techniques à employer et leurs modalités d'utilisation: drague mécanique, drague hydraulique, moyens de transport des matériaux sur le site de destination finale, moyens d'immersion ou de mise en dépôt ;
- les différentes filières de gestion des sédiments.

Les caractéristiques géochimiques des matériaux sont capitales à connaître pour adapter les moyens techniques et les filières de traitement aux enjeux environnementaux. Quelques exemples :

- L'extraction de matériaux en milieu portuaire peut amener à choisir une drague mécanique ou hydraulique.
 - Une drague mécanique munie d'une benne « environnementale » étanche et entourée d'un écran anti-turbidité, sera préférée pour draguer des petits volumes de sédiments ayant un taux de contamination élevée (moins de perte lors de la remontée de la benne, dispersion des matières en suspension limitée par le rideau anti-turbidité).
 - Une drague hydraulique pourra être utilisée lorsque de forts volumes sont en jeu et que la contamination des sédiments est faible. Elle implique l'extraction d'une mixture comprenant un fort volume d'eau (jusqu'à 85 %) et pose donc, en cas de dépôt à terre, la question de la décantation des sédiments et de l'évacuation des eaux d'exhaure qui nécessiteront alors éventuellement un traitement spécifique avant rejet.
- Le niveau de contamination des sédiments et ses effets sur le milieu peuvent conduire à ne pas immerger les matériaux et à retenir un mode de traitement et de confinement ou de valorisation adapté (cf. encadré ci-dessous), évitant ainsi toute contamination du milieu marin, mais induisant des contraintes propres aux modes de gestion considérés.

Liste non exhaustive des voies de valorisation à terre des sédiments	
Voies de valorisation usuelles : <ul style="list-style-type: none"> • Lutte contre l'érosion et renforcement des plages et berges • Epandage agricole • Couverture d'installation de stockage de déchets • Valorisation en aménagement paysager • Remblais de carrière et de ballastière pour les sédiments inertes • Utilisation en remblais de travaux portuaires ou côtiers 	Voies de valorisation expérimentales : <ul style="list-style-type: none"> • Matériaux de construction • Valorisation en techniques routières (sous-couche)

2.2.3 Préparer l'évaluation environnementale de l'opération

L'opération de dragage peut s'accompagner d'une évaluation environnementale qui prend la forme d'une étude d'impact prescrite par l'autorité environnementale, après examen au cas par cas³ (opérations soumises à autorisation au titre de la loi sur l'eau) ou d'un document d'incidences sur l'eau, en cas de déclaration au titre de la loi sur l'eau (ou d'autorisation lorsque le projet n'est pas soumis à étude d'impact).

En dehors du référentiel réglementaire, la connaissance des caractéristiques géochimiques des sédiments est un paramètre indispensable à connaître qui servira à évaluer :

- les effets directs et indirects pendant l'extraction des matériaux et leur immersion : génération de panache turbide, relargage et diffusion éventuelle de contaminants dans la colonne d'eau, impacts sur la faune et la flore, accumulation des contaminants dans la chaîne alimentaire,...
- les effets potentiels sur la santé humaine,
- les éventuels effets cumulatifs avec d'autres projets.

On notera que les sédiments à draguer ne sont pas les seuls concernés par leur caractérisation. Il est aussi important de caractériser les sédiments des fonds marins sur lesquels les matériaux extraits seront immergés afin d'en apprécier l'impact à court, moyen et long terme. Ces analyses sont à anticiper lors de la préparation du programme de prélèvements et d'analyses afin de mutualiser les moyens et les budgets afférents.

2.3 Les points-clés à considérer

2.3.1 Informations à collecter

2.3.1.1 Connaissance de la contamination des sédiments d'un site

Concernant les ports, les analyses du milieu (eau, sédiments) faites par le Réseau de surveillance de la qualité des sédiments des Ports Maritimes (REPOM)⁴, ainsi que les analyses disponibles (par exemple, dans le cadre du système de management environnemental engagé par certains GPM), les études existantes..., constituent un socle informationnel solide pour cadrer le niveau de contamination des sédiments. Elles permettent généralement de cibler, pour les sites déjà analysés :

- les paramètres dépassant les seuils référentiels,
- l'évolution spatiale des polluants : stations présentant des pollutions avérées, différentiel en fonction de la profondeur dans les sédiments (néanmoins, la plupart des échantillons analysés sont généralement sub-superficiels, ce qui permet rarement d'avoir cette information),
- l'évolution historique des polluants (variations dans le temps),

³ Lorsqu'ils sont soumis à autorisation au titre de l'article R 214-1 du code de l'environnement, les dragages et rejets y afférent en milieu marin sont soumis à une demande d'examen au cas par cas pour savoir s'ils relèvent d'une étude d'impact (cf catégorie 25° : « Extraction de matériaux par dragage marin ou fluvial » de l'annexe à l'article R 122-2 du code de l'environnement ; cf décret n° 2016-1110 du 11 août 2016).

⁴ Créé en 1997 par le Directeur de l'Eau, le RÉPOM a pour objectif le suivi national de la qualité des eaux et des sédiments des ports maritimes en s'appuyant sur les services chargés de la police des eaux littorales. Quelque 192 ports maritimes font l'objet d'un suivi dont 4 ports situés outre-mer.

- les particularités propres à un site : concentrations d'hydrocarbures à proximité d'une aire d'avitaillement en carburant, de métaux lourds à l'aplomb d'un quai minéralier, pollution particulière au niveau d'un exutoire pluvial, contaminants liés à une activité spécifique...

2.3.1.2 Les enjeux écologiques et les activités

La connaissance de ces enjeux permet de préparer la stratégie d'échantillonnage en déclenchant des investigations spécifiques en fonction de :

- la sensibilité des milieux susceptibles d'être touchés : présence d'habitats de fort intérêt écologique : herbier de magnoliophytes (posidonie, zostère), maërl, coralligène, champs d'algues...
- et la vulnérabilité des activités et usages proches, si le site de dragage ou d'immersion est proche d'une zone de cultures marines, de baignade ou de pêche à pied, ou encore de gisements de coquillages exploités commercialement (palourdes, coques, tellines, coquilles Saint-Jacques...).

Orientations pour la désignation des enjeux⁵

- On considère que les zones à enjeux sont celles faisant partie du registre des zones protégées⁶, ou identifiées comme telles dans les documents de référence⁷ ou la bibliographie, ainsi que les zones spécifiques vis-à-vis d'enjeux sanitaires telles que les zones conchylicoles et les zones de baignade.
- La position de la zone à draguer ou de la zone d'immersion par rapport à une zone à enjeu devra être justifiée : par exemple, la distance à un herbier et le sens des courants dominants. Les enjeux devront être précisément ciblés, en fonction des impacts liés au dragage et à l'immersion. Par exemple, s'agissant des usages, la proximité d'une zone de culture marine, d'une zone de baignade ou d'une zone de pêche à pied constitue un enjeu prioritaire.
- Lorsqu'un enjeu est identifié au titre de la présence d'une zone Natura 2000, il conviendra de vérifier que les espèces et les habitats concernés peuvent effectivement être impactés par l'activité de dragage/immersion. Par exemple, la proximité d'une Zone de Protection Spéciale ne constitue pas forcément un enjeu prioritaire.
- D'une manière plus générale, dès lors qu'une Aire Marine Protégée (AMP) se situe à proximité de la zone à draguer ou des sites d'immersion possible, il s'agit de clairement rappeler pourquoi elle a été classée comme AMP (par exemple, quelles espèces ou quels habitats ont justifié le classement en AMP ?).
- La présence proche d'une ZNIEFF marine peut être un critère de sélection.

⁵ DGALN/Direction de l'eau et de la biodiversité. Sous-direction du littoral et des milieux marins Mise en œuvre de la directive cadre stratégie pour le milieu marin (DCSMM). Mise en œuvre du REPOM dans le cadre du programme de surveillance DCSMM. Thématique « contaminants ». Sous-programme 2 : contaminants chimiques dans le milieu. Juin 2014.

⁶ Il s'agit notamment des zones suivantes : masses d'eau désignées en tant qu'eaux de plaisance, y compris les zones désignées en tant qu'eaux de baignade dans le cadre de la directive 76/160/CEE ; zones désignées pour la protection des espèces aquatiques importantes du point de vue économique ; zones désignées pour la protection des habitats et des espèces dans le cadre de Natura 2000 ; zones désignées comme sensibles dans le cadre de la directive 91/271/CEE relative au traitement des eaux résiduaires urbaines.

⁷ Par documents de référence auxquels se référer, on entend les évaluations initiales DCSMM, les atlas de sensibilité POLMAR, ou encore les documents locaux du type « contrat de baie ».



C'est à partir de ces premières informations (sources de contamination, enjeux écologiques et enjeux d'usages) qu'il est possible de construire une stratégie d'échantillonnage (voir Etape 2) répondant aux prescriptions de la circulaire de 2000 (nombre d'échantillons, en fonction de la typologie des sites à draguer), mais aussi adaptée aux conditions locales (emplacement des points, stratification de l'échantillonnage, mesures complémentaires).

2.3.2 Cadrage préalable avec les services de la police de l'eau

Avant toute campagne de terrain, il est recommandé de fournir le plan d'échantillonnage des sédiments pour avis, aux services de l'Etat en charge de la police de l'eau. Il est recommandé de présenter un argumentaire étayé par les informations recueillies au 2.2.1. Le service de police des eaux pourra formuler des prescriptions particulières en fonction de son retour d'expériences (connaissance du site et de son bassin versant, de l'historique des activités génératrices de pollution, des autres pressions,...) et de la prise en compte des enjeux :

- modulation du nombre des prélèvements et de leur répartition spatiale (en x, y et z),
- recommandation sur une technique de prélèvements,
- analyses complémentaires sur des paramètres non réglementaires, mais présentant un enjeu par rapport aux sources de contamination ou à la sensibilité du milieu (au niveau local ou même de la façade maritime),
- prescriptions de tests d'écotoxicité,...

A noter que le plan d'échantillonnage peut être évolutif :

- dans l'espace, en déclenchant une première série d'analyses destinées à distinguer les secteurs contaminés, puis une seconde série avec un maillage plus resserré pour mieux préciser les limites entre sédiments contaminés et sédiments sains,
- dans le temps, dans le cadre d'un programme phasé de dragage : par exemple dans le cas d'une demande d'autorisation de dragage sur une période de 10 ans, le plan d'échantillonnage couvrira l'ensemble des phases de l'opération. Il n'exclut pas des prélèvements complémentaires préalablement à chaque tranche de travaux pour infirmer ou confirmer les premières analyses et tenir compte de l'évolution du milieu et des apports contaminants éventuels.

Le service de l'Etat chargé de la police de l'eau validera le plan final d'échantillonnage ainsi mis au point.⁸

⁸ Ce cadrage préalable est indépendant de la demande par le pétitionnaire, des informations que doit contenir l'étude d'impact, auprès de l'autorité environnementale (cf article R-122-4 du code de l'environnement).



2.3.3 Coordination avec les autres études techniques et intégration dans le planning des études

La détermination de la qualité des sédiments nécessite une campagne à la mer impliquant du matériel (préleveurs, navire) et du personnel spécialisé (techniciens, voire personnel habilité à intervenir en milieu hyperbare). Par ailleurs les délais d'analyse sont au minimum d'un mois. En conséquence, le maître d'ouvrage ou le pétitionnaire devra anticiper les prélèvements et analyses en les réalisant au début des études relatives à l'opération : elles conditionnent en effet le déclenchement des procédures réglementaires et la définition du projet (techniques de dragage, destination finale des matériaux).

S'agissant de l'économie du projet (maîtrise du budget et des délais), il est recommandé de mutualiser les moyens à la mer, par exemple en couplant *a minima* les campagnes de prélèvement de sédiment et de benthos, en prenant soin d'avoir des stations communes pour consolider les résultats. Lorsque cela est possible, les campagnes géotechniques qui emploient des moyens beaucoup plus lourds et coûteux, peuvent inclure le prélèvement de sédiments à des fins d'analyses géochimiques. Cependant les techniques de prélèvement des carottes pour la géotechnique ne sont pas forcément compatibles avec le prélèvement d'échantillons destinés à des analyses qualitatives.

On retiendra la nécessité de développer une vision d'ensemble des analyses très en amont du projet de manière à anticiper au maximum les évolutions susceptibles de pénaliser le planning de l'opération et les coûts associés à la caractérisation des matériaux. Des évolutions peuvent en effet nécessiter d'effectuer de nouvelles analyses ou d'approfondir ponctuellement l'étendue des analyses réalisées du fait par exemple des résultats obtenus en première approche ou encore du fait de modifications du projet technique. Les chapitres suivants illustrent, au travers de différents exemples et points de vigilance, des mécanismes d'anticipation de ces évolutions applicables aux différentes étapes de la caractérisation des matériaux de dragage.

3. Etape 2 : Définition de la stratégie d'échantillonnage

3.1 Considérations générales

- Le plan d'échantillonnage et les prélèvements des matériaux dragués sont effectués sous la responsabilité du maître d'ouvrage de l'opération. Le plan d'échantillonnage devra recueillir l'avis du service de l'Etat chargé de la police de l'eau.
- Comme indiqué dans le paragraphe 2.3., la stratégie d'échantillonnage doit se baser sur la connaissance historique des sources de pollution (tendances et comparaisons) et des enjeux écologiques. Ces informations doivent guider la stratégie selon que la présomption de pollution est avérée ou non et selon la nature du milieu à échantillonner.
- Les échantillons prélevés représentent en masse, un infime pourcentage de la zone à caractériser. Ils doivent donc être prélevés dans les zones les plus représentatives du site et, en cas de suivi temporel, toujours au même endroit.
- Les propriétés physico-chimiques des sédiments peuvent être fortement influencées par le choix des stations de prélèvement, par la méthode de prélèvement et d'échantillonnage et par la constitution des échantillons eux-mêmes. Ces influences éventuelles seront prises en considération lors de l'évaluation des résultats.
- La distribution et la profondeur de l'échantillonnage doivent refléter les caractéristiques de la zone et la variabilité probable dans la distribution horizontale et verticale des contaminants.
- La stratégie d'échantillonnage peut relever d'un processus itératif : les résultats obtenus suite à une première série d'analyse permettent de préciser le cas échéant les besoins d'analyses complémentaires (en types de substance et dans l'espace).

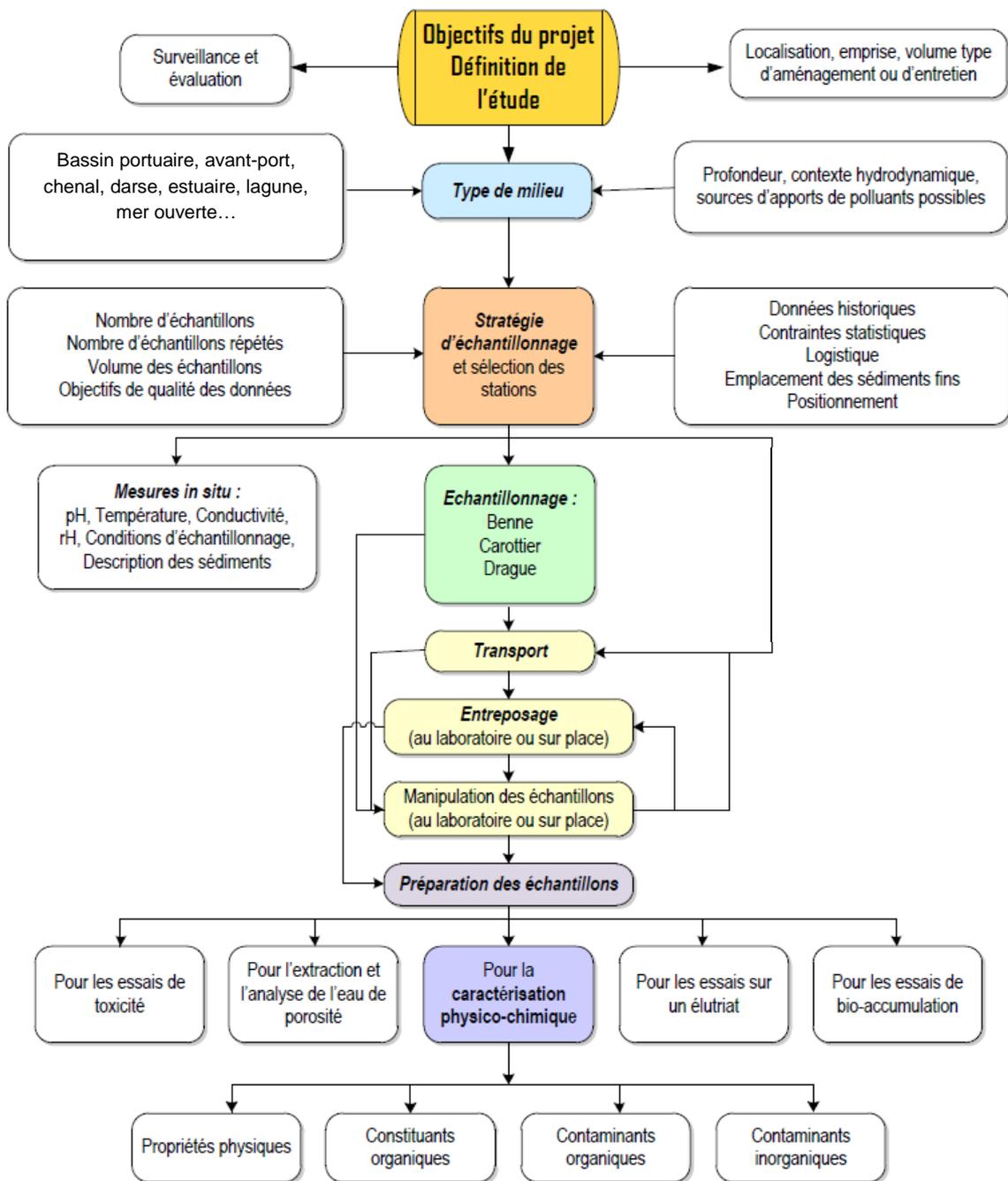
3.2 Campagne d'échantillonnage

L'objectif principal de la campagne d'échantillonnage est d'obtenir des échantillons adéquats pour la caractérisation physico-chimique et, le cas échéant, éco-toxicologique des sédiments du site de dragage et, selon les cas, de la zone d'immersion. Certains facteurs essentiels sont à considérer :

- la représentativité des échantillons,
- l'intégrité des échantillons,
- le nombre d'échantillons,
- les techniques d'échantillonnage appropriées,
- les techniques de conservation des échantillons jusqu'à l'analyse par des laboratoires spécialisés.



Figure 1 Démarche pour la caractérisation des sédiments marins (source : adapté de Environnement Canada, 1994)



3.2.1 Le plan d'échantillonnage

Il va consister à déterminer l'emplacement des **points de prélèvement** de sédiments ou **points d'échantillonnage** destinés à recueillir les échantillons à des fins d'analyses. Ces points de prélèvement sont couramment appelés **stations**.

3.2.1.1 Considération des caractéristiques de l'opération de dragage

L'élaboration du plan d'échantillonnage tient compte en premier lieu des caractéristiques de l'opération de dragage :

- les limites de la zone de dragage et celle d'immersion des sédiments permettent de déterminer le nombre d'échantillons à prélever ainsi que leur emplacement en regard des superficies affectées par les travaux ;
- le volume du matériel à excaver et la profondeur d'excavation ajoutent des informations essentielles à l'établissement du nombre minimal d'échantillons à prélever et des sous-strates à échantillonner ; la méthode de dragage en sera elle-même tributaire.

3.2.1.2 Les types d'échantillonnage

Représentativité horizontale ou maillage

Trois types fondamentaux d'échantillonnage peuvent être utilisés selon les circonstances : déterministe, aléatoire et systématique.

- **Plan d'échantillonnage déterministe ou ciblé**

Le plan d'échantillonnage est déterminé par l'opérateur lorsqu'il dispose d'informations suffisantes pour justifier l'emplacement des stations. L'emplacement des stations est choisi en fonction de critères de sélection comme : un type de sédiment particulier (secteur de forte sédimentation de matériaux fins), la proximité d'un rejet connu ou d'une source de contamination potentielle. Le plan déterministe vise souvent l'évaluation des secteurs plus contaminés et dans ce contexte, l'information recueillie est généralement insuffisante pour caractériser l'ensemble de la zone qui fera l'objet d'un dragage. Ce type de plan d'échantillonnage n'est également pas adapté à l'inférence statistique qui consiste à attribuer à toute la zone, les propriétés trouvées dans les échantillons prélevés. De plus ce plan n'est applicable que lorsque l'on dispose d'informations suffisantes pour justifier l'emplacement des stations. Il doit surtout être utilisé dans le cas d'un échantillonnage exploratoire.

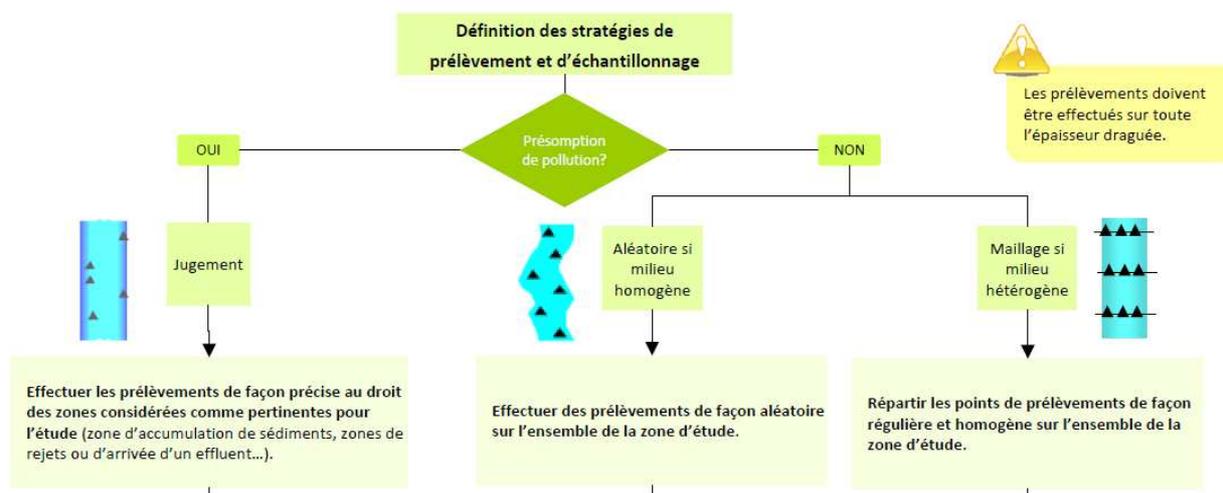
- **Plan d'échantillonnage aléatoire**

L'emplacement des stations est déterminé au hasard ce qui permet l'application de statistiques pour le traitement des données. Ce plan n'est pas recommandé car les techniques aléatoires pour déterminer la position des stations conduisent presque inévitablement à une distribution non uniforme des stations sur l'ensemble du site. En conséquence, certains secteurs peuvent être sur-échantillonnés quand d'autres sont à l'inverse sous-échantillonnés. Le plan d'échantillonnage aléatoire peut cependant être optimisé en découpant la zone d'étude en sous-zones homogènes et en répartissant les stations d'échantillonnage de manière aléatoire, à l'intérieur de ces sous-unités. On s'assure ainsi d'avoir un certain nombre de stations dans chacune des sous-zones homogènes et de caractériser l'ensemble du gradient de contamination dans la zone d'étude.

• **Plan d'échantillonnage systématique**

Les stations d'échantillonnage sont réparties de manière régulière et équidistantes généralement à partir d'une grille à maille carrée ou rectangulaire qui est orientée selon un axe donné correspondant aux caractéristiques géomorphologiques ou hydrodynamiques du site : gradient bathymétrique ou sédimentologique, direction d'un courant dominant. Ce type de plan d'échantillonnage présente l'avantage de couvrir toute la superficie intéressée, par contre l'effort d'échantillonnage est le même partout de sorte que l'information fournie par les stations dans certains secteurs homogènes est rapidement redondante. Cela conduit le plus souvent à un effort d'échantillonnage inutile. Le plan d'échantillonnage peut toutefois être optimisé en divisant la zone d'étude en unités homogènes selon les caractéristiques supposées ou connues des sédiments. On applique ensuite un pas d'échantillonnage variable en s'assurant d'un pas plus serré dans les secteurs concentrant les matériaux fins et donc susceptibles d'être plus contaminés.

Figure 2 Stratégie d'échantillonnage (source : VNF, 2012)

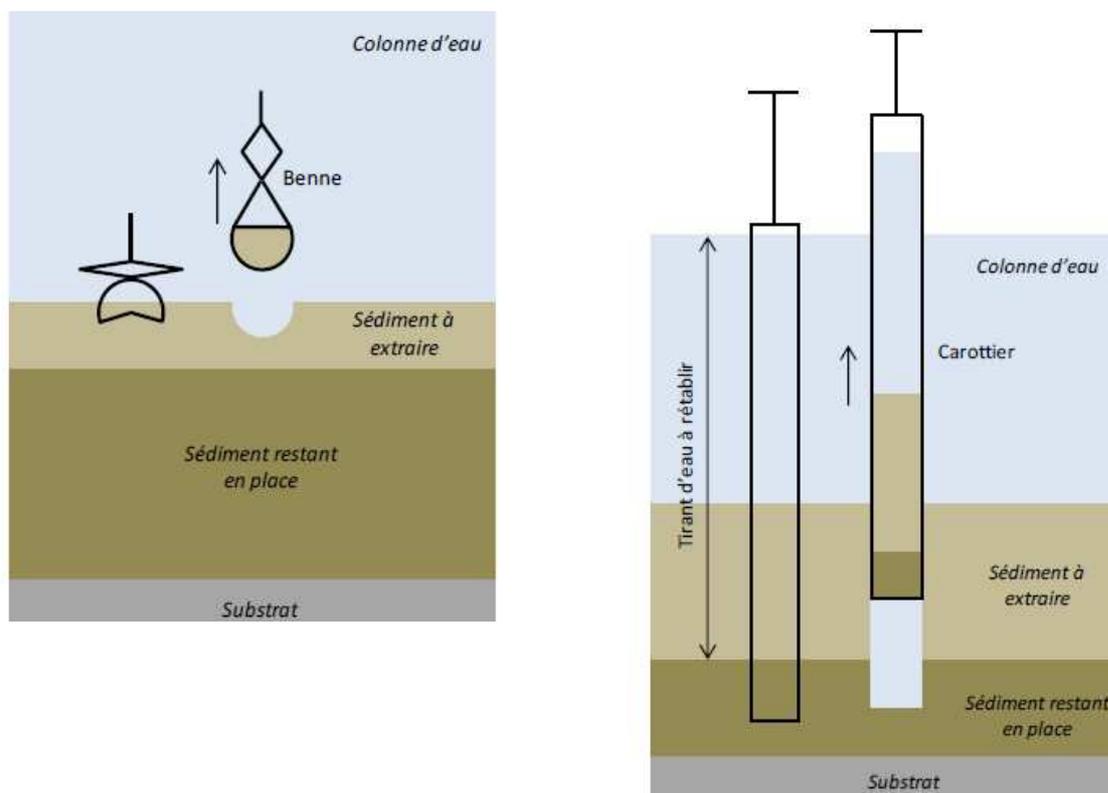


Représentativité verticale

La représentativité verticale des sédiments vise à caractériser les strates sédimentaires représentatives du projet (prélèvements de surface et/ou en profondeur) selon la cote du dragage projeté.

A contrario, les opérations impliquant des épaisseurs de sédiment importantes nécessitent d'évaluer l'état de contamination sur toute sa composante verticale. Il est recommandé également sur les dépôts anciens, témoins d'une pollution historique, de connaître la qualité des matériaux restant en place à l'issue du projet (dragage d'approfondissement, opération de dépollution). Cette démarche est à même de renseigner le maître d'ouvrage sur les risques de dégradation du milieu.

Figure 3 Schéma de principe d'un prélèvement de sédiment superficiel (à gauche) et carotté (à droite).
 Source : DREAL Rhône-Alpes / IDRA Environnement. Septembre 2013



3.2.2 Effort d'échantillonnage

Le maillage et la fréquence des prélèvements doivent répondre à un compromis permettant d'acquérir une connaissance satisfaisante des matériaux sans que la contrainte financière ou logistique ne devienne insupportable (coût économiquement raisonnable). Le principe de proportionnalité est à rechercher, le nombre d'échantillons pouvant être modulé en fonction de la nature des sédiments (fonds homogènes ou hétérogènes), du volume et de l'épaisseur des matériaux à draguer.

3.2.2.1 Nombre de stations d'échantillonnage

Le nombre de stations d'échantillonnage est habituellement déterminé par :

- l'étendue de la zone (site de dragage, site d'immersion),
- la hauteur de la strate à draguer,
- les caractéristiques et l'homogénéité des sédiments,
- les conditions hydrodynamiques du site (cf. encadré de la page suivante),
- les enjeux environnementaux et d'usage,
- la nature, la répartition et la concentration des contaminants à évaluer,
- les contraintes analytiques (volume de matériaux nécessaires pour les différents types d'analyses),
- le degré de confiance désiré pour établir la moyenne des résultats.

Les recommandations de la circulaire du 14 juin 2000

Les retours d'expérience montrent de très nettes différences entre les résultats des analyses correspondant à des prélèvements effectués en zone confinée (ports ou bassins fermés, certaines parties d'estuaires, lagunes) et les secteurs de mode exposé ou bénéficiant d'un meilleur renouvellement hydrodynamique (embouchure d'estuaire, chenal maritime en mer ouverte). La circulaire d'application du 14 juin 2000 tient compte de ces différences en modulant la pression de prélèvement et donc d'analyses. Elle distingue ainsi :

- les **zones à échanges libres** caractérisées par des échanges importants de masse d'eau dus à de forts courants et/ou à une agitation importante du plan d'eau (houle...) ;
- les **zones confinées** caractérisées par un faible renouvellement des masses d'eaux. Entrent souvent dans cette catégorie les bassins portuaires fermés soumis à des apports (industriels, urbains, ...) ;
- les **ports de plaisance**, en considérant soit le volume à draguer défini pour les zones confinées, soit la capacité d'accueil (nombre de navires de plaisance). Le nombre d'échantillons à analyser correspond au critère le plus contraignant entre capacité d'accueil et volume à extraire.

Les tableaux de la circulaire sont indicatifs en ce sens que le nombre de stations de prélèvement doit être justifié et adapté aux enjeux du projet en fonction de l'analyse de risque préalable.

3.2.2.2 Echantillons élémentaires et échantillons moyens

Il est recommandé, mais pas obligatoire, de prélever **trois échantillons élémentaires ou unitaires** à chaque station. Chaque échantillon élémentaire est collecté par l'engin de prélèvement qui est donc opéré trois fois de suite pour recueillir les trois échantillons élémentaires⁹. Ces échantillons sont ensuite conditionnés individuellement. Au laboratoire ou *in situ*, ces échantillons élémentaires seront mélangés pour constituer **l'échantillon moyen**¹⁰ sur lequel seront effectuées les analyses géochimiques.

En cas **d'échantillonnage stratifié (carottage)**, on procédera de la même manière s'il est possible d'obtenir trois carottes pour chaque station, en prélevant les échantillons élémentaires au sein de la même strate sédimentaire homogène.

3.2.2.3 Echantillons de réserve et « répliqués »

Pour les besoins de contrôle de qualité, il peut être décidé de prélever des échantillons supplémentaires ou de fractionner les échantillons prélevés en vue d'une conserver une partie pour la réalisation d'analyses de vérification. On distingue :

- **l'échantillon élémentaire de réserve** qui est prélevé à l'intérieur d'une même station : s'il ne constitue pas un répliqué analytique au sens propre du terme, il permet de rendre compte de la variabilité de qualité au niveau du terrain et de confirmer ou d'infirmer des valeurs aberrantes qui auraient été obtenues sur l'échantillon de base. Il est parfois appelé répliqué de terrain.
- **le pseudo-répliqué** qui provient du fractionnement en au moins deux parties distinctes (sous-échantillons) du même échantillon.

⁹ L'embarcation peut être légèrement déplacée pour assurer que les envois successifs de la benne n'échantillonnent pas les sédiments perturbés par les prélèvements précédents.

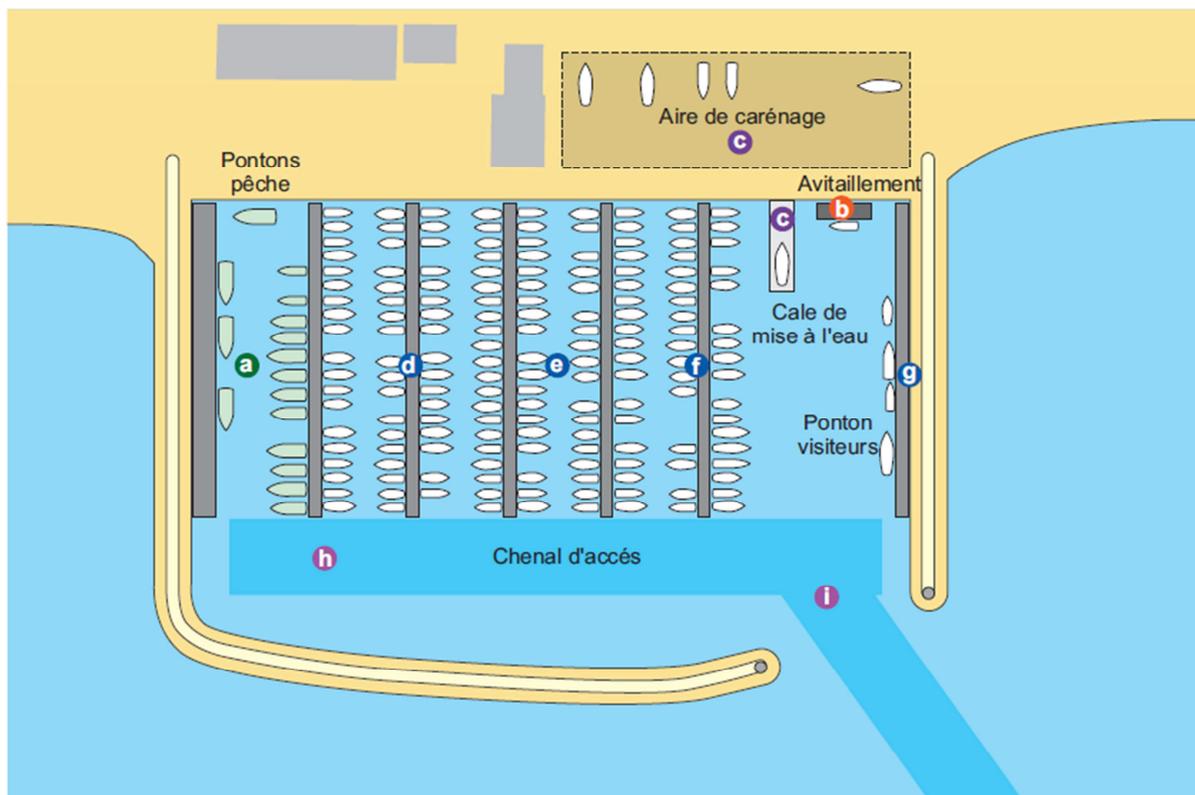
¹⁰ A noter que le terme d'« échantillon moyen » est aussi parfois utilisé pour désigner un échantillon constitué à partir d'échantillons de stations différentes sur une même zone.

3.3 Exemples de plans d'échantillonnage

Les considérations qui précèdent montrent qu'une réflexion est toujours à mener pour optimiser au mieux le plan d'échantillonnage par rapport aux objectifs recherchés. Les exemples ci-après illustrent la recherche d'une stratégie adaptée à chaque cas.

Exemple 1

Considérons le dragage de 3 000 m³ de sédiments dans le bassin et le chenal d'accès d'un port de plaisance de 120 anneaux.



Définition d'un plan d'échantillonnage à partir des secteurs à enjeux :

- a** Secteur pêche
- b** Poste d'avitaillement
- c** Cale de mise à l'eau / carénage
- d e f** Plaisance permanente
- g** Plaisance visiteurs
- h i** Chenal

Figure 4: Exemple d'une analyse préalable des secteurs à enjeux en vue de la définition d'un plan d'échantillonnage (exemple du REPOM)

L'application stricte de la grille « ports de plaisance » de la circulaire indique que deux échantillons sont théoriquement nécessaires (critère « capacité »).

Un diagnostic préalable montre que la nature des sédiments diffère dans le chenal d'accès (sable vaseux au point (h) et sable au point (i) et dans le bassin sous les pontons (vases sableuses aux points (a) à (f)). Le maximum de dépôt étant constaté devant un quai équipé d'une aire de carénage artisanale sans traitement des eaux résiduaires (point (b), un point supplémentaire sera réalisé au droit de ce quai et l'épaisseur à draguer à cet endroit de 1 m, milite pour deux échantillons l'un en surface et l'autre à 1 m de profondeur. Il est donc recommandé d'échantillonner quatre échantillons : chenal, pontons et aire de carénage (un point en surface des sédiments et un point à mi-profondeur).

Exemple 2

Soit un port de plaisance de 300 anneaux comprenant deux bassins confinés du fait d'une relation indirecte avec la mer par un chenal unique débouchant dans l'avant-port. La sédimentation est essentiellement vaseuse en raison des apports du bassin versant. Le volume à draguer est de 30 000 m³.

Le nombre d'échantillons serait de 5, selon les préconisations de la circulaire d'application du 14 juin 2000 (critère « volume à draguer »). Un maillage plus serré est cependant réalisé (20 points) afin de distinguer finement les secteurs en fonction de leur degré de pollution (impact des émissaires pluviaux dans le port, de l'aire de carénage, de la station d'avitaillement, du quai de pêche). Tous les matériaux devant être gérés et traités à terre, l'objectif est de pouvoir faire des extractions sélectives en fonction du degré de contamination et du mode de traitement envisagé (stockage temporaire à terre, puis traitement ou stockage définitif). Ce maillage fin permet de regrouper les zones contaminées et d'en extraire les sédiments, par exemple avec une benne « environnementale », et de traiter cette fraction à part.

Figure 5 : Exemple de maillage spécifique sur un secteur confiné susceptible de présenter d'importantes variations de qualité des matériaux.

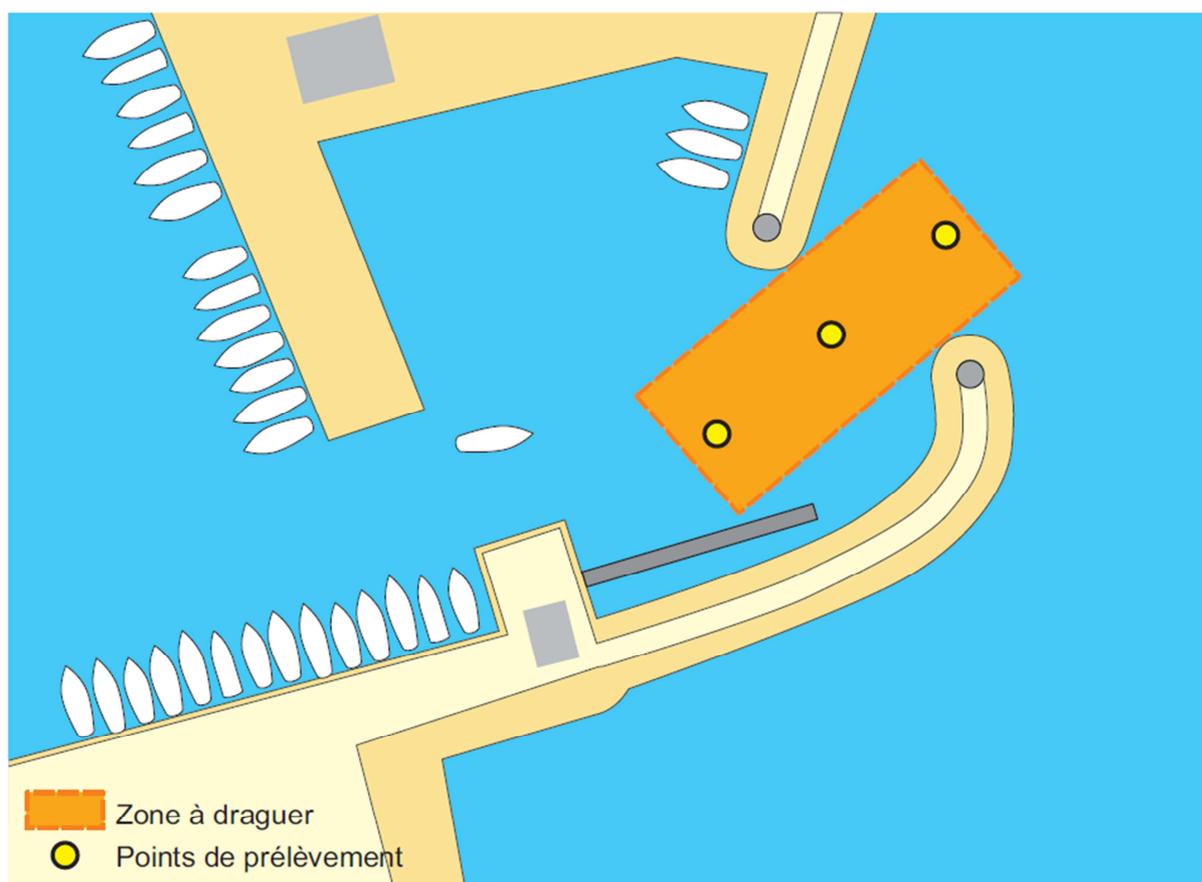


Exemple 3

Les travaux de dragage concernent l'extraction de matériaux sableux (8 000 m³) déposés dans la passe d'entrée d'un port de plaisance de 600 anneaux. Ils doivent être réutilisés pour recharger une plage sujette à érosion située en amont du port.

Le nombre théorique d'échantillons à prélever est de 3 selon les préconisations de la circulaire d'application du 14 juin 2000 (critère « volume à draguer » et « capacité »). Les sédiments à extraire sont très homogènes (sables du prisme littoral). En conséquence, le nombre de 3 échantillons est représentatif de la zone à draguer.

Figure 6 : Exemple d'un plan d'échantillonnage simple permettant une caractérisation satisfaisante d'un matériau homogène



Exemple 4

L'approfondissement du chenal d'accès d'un port de commerce nécessite l'extraction d'environ 3 000 000 m³ de matériaux sédimentaires. Au sein du site à draguer, trois classes granulométriques principales coexistent : sables grossiers et graviers, sables fins, vases. L'application de la grille de la circulaire (« zone à échanges libres ») nécessiterait de prélever théoriquement 40 échantillons, compte tenu du volume des sédiments à draguer.

La stratégie d'échantillonnage permet de couvrir les différents faciès sédimentaires à l'intérieur de la zone à draguer. Il en résulte un maillage aléatoire, mais représentatif des différents faciès sédimentaires, comprenant 15 échantillons dont 5 carottages afin de connaître la qualité des sédiments sur la totalité de l'épaisseur à draguer, particulièrement sur les zones caractérisées par un sédiment vaseux ou silteux.

Figure 7 : Exemple d'un plan d'échantillonnage reposant sur des prélèvements aléatoires mais représentatifs des différents faciès à draguer



Définition d'un plan d'échantillonnage à partir de prélèvement représentatifs de la zone à draguer

- | | |
|--|--|
| Type de sédiments : | Type de prélèvement : |
| ■ Sable fin | ■ Carottage |
| ■ Sable fin envasé | ● Prélèvement superficiel |
| ■ Sable grossier à graveleux | |
| ■ Vase | |
| ■ Vase silteuse | |

Exemple 5

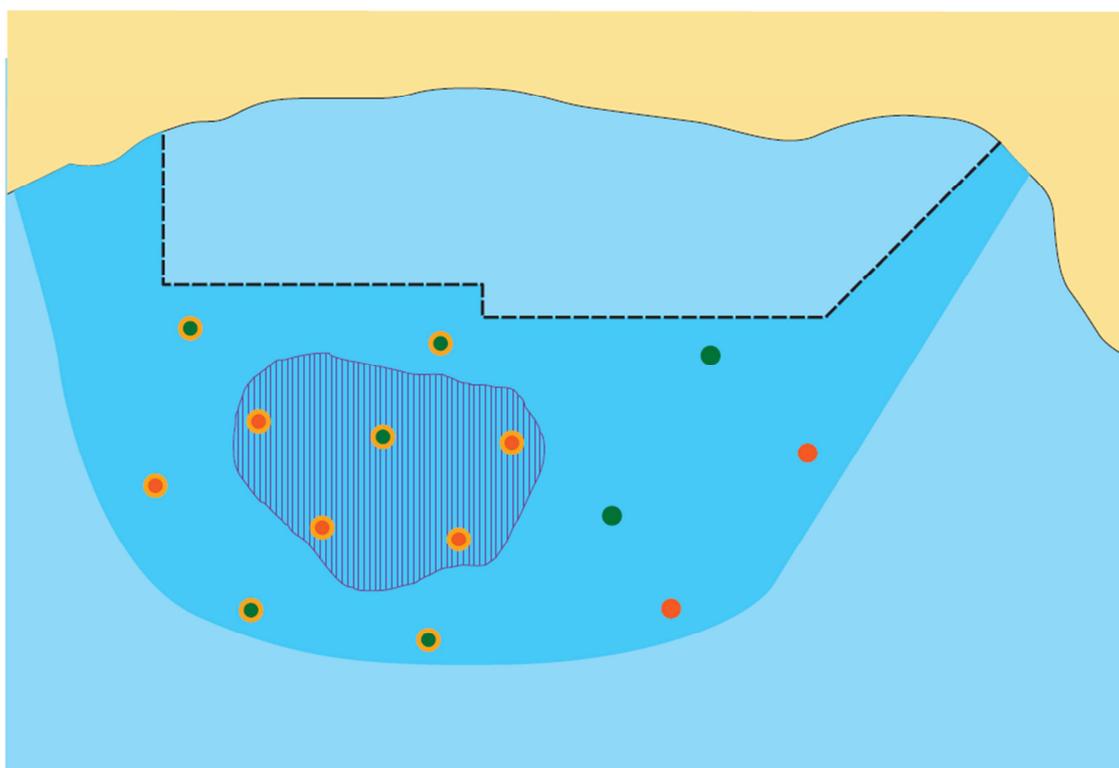
La construction d'un terre-plein et d'un quai est envisagée dans un bassin portuaire. Il nécessite un dragage préalable des fonds pour atteindre le tirant d'eau nécessaire aux navires attendus. On procède à une première campagne permettant de caractériser la qualité géochimique des matériaux à partir de 7 échantillons répartis aléatoirement sur la zone à draguer. Les sédiments superficiels prélevés sont composés de vases sableuses.

Les analyses montrent que les sédiments de surface de quatre stations présentent une contamination élevée en HAP dépassant largement le seuil N2 pour certains HAP. Elles permettent d'identifier une zone potentielle de contamination.

Le choix est alors fait de mener des investigations supplémentaires afin de connaître les volumes exacts de sédiments présentant une contamination afin de mettre en place une solution adaptée à l'élimination de ceux-ci sans s'interdire l'utilisation de filières différentes pour les volumes non contaminés. En effet il est possible que la contamination en HAP ne concerne que le premier mètre (ou moins) de l'épaisseur des sédiments étant donné les vitesses de sédimentation lentes dans la zone ainsi que l'historique récent (50 ans) des sources de contamination.

Le nouveau plan d'échantillonnage reprend les stations déjà prélevées lors de la première campagne, ceci afin de permettre des comparaisons entre les campagnes. Sept stations sont ajoutées. Sur dix stations centrées sur la zone potentiellement contaminée, est prélevée une carotte de 2 m qui est sectionnée en échantillons de 50 cm, soit 4 par carotte. Les analyses de HAP sont faites sur les sous-échantillons de manière à caractériser la contamination à chaque horizon. Ce sont ainsi 4 x 10, soit 40 échantillons qui sont constitués.

Figure 8 : Exemple d'un plan d'échantillonnage établi en deux temps afin de caractériser au mieux l'étendue de la contamination identifiée



- Définition d'un plan d'échantillonnage à partir de prélèvement représentatifs de la zone à draguer
- Limites du futur quai
 - Zone à draguer
 - Zone fortement contaminée par les AHP
 - Stations campagne 1 (7 stations)
 - Stations campagne 2 (7 nouvelles stations + stations campagne 1)
 - Stations carottées

4. Etape 3 : Réalisation des prélèvements et conditionnement des échantillons

4.1 Moyens de prélèvement

Les moyens nautiques (bateau équipé d'un treuil et d'une potence de levage) doivent être adaptés aux conditions météorologiques (stabilité du navire pour permettre des prélèvements précis en toute sécurité pour le personnel à bord). Le matériel de prélèvement doit être adapté au type de sédiment à prélever variant selon la granulométrie concernée et la profondeur d'échantillonnage : couches superficielles de 0 à 20 cm ou plus profondes (20 cm à plusieurs mètres). On peut distinguer en conséquence les prélèvements du **sédiment superficiel** et des **couches plus profondes par carottage**.

4.1.1 Prélèvement de sédiments superficiels

L'utilisation de bennes de type Eckman et Shipeck est préconisée pour la réalisation d'analyses effectuées dans le cadre du REPOM. D'autres bennes peuvent cependant être utilisées, dans la limite de leur domaine d'application et de la nature des matériaux en place.

4.1.1.1 Benne de type Eckman



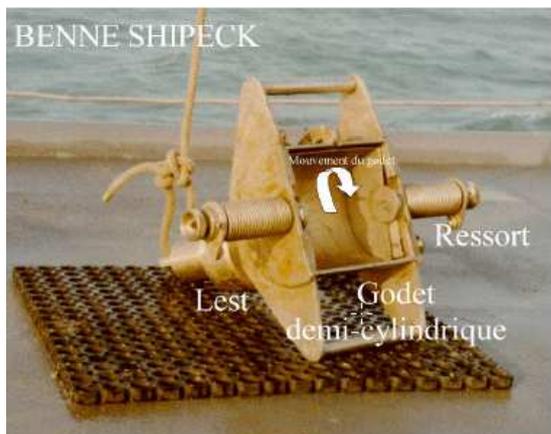
Figure 9 Illustration d'une benne de type Eckman

La benne légère de type Eckman est une sorte de carottier-boîte adapté au prélèvement de sédiments cohésifs (vases, vases sableuses). La boîte de section carrée (15 cm à 20 cm de côté, 20 cm à 40 cm de hauteur), fermée sur le dessus par deux couvercles, peut pénétrer assez profondément dans le sédiment meuble. Les deux mâchoires qui constituent le fond se referment sous la tension des ressorts libérés par un messageur. L'accès au sédiment se fait aisément par le dessus. Certains modèles sont modifiés pour pouvoir découper le sédiment en tranches horizontales (Eckman-Lenz).

D'un poids de 5 à 8 kg, ces bennes peuvent être alourdis par des lestes plats, fixés sur les côtés, mais ne conviennent de toute façon qu'à des sédiments vaseux.

Le défaut majeur de cette benne est qu'elle peut perdre l'ensemble du contenu à la remontée si un élément obstrue ses mâchoires. Par contre, sa mise en œuvre est facile en particulier dans les petits fonds (elle peut être manipulée depuis la surface par un manche). La benne Eckman est recommandée par Ifremer, dans le cadre de la DCE, dans les zones où la profondeur n'excède pas 3 m.

4.1.1.2 Benne Shipeck



La benne lourde de type Shipeck convient aux prélèvements de sédiments non cohésifs (sableux à graveleux). Elle comporte un godet semi-cylindrique d'axe horizontal qui pivote sous la tension de deux puissants ressorts axiaux ; le déclenchement se fait lorsque la benne se pose sur le fond. Les bords du godet doivent être suffisamment coupants pour pénétrer dans le sédiment. Le sédiment est emprisonné se trouve protégé du lessivage à la remontée. Une fois à bord, le godet est désolidarisé du corps de benne pour l'échantillonnage.

Figure 10 Illustration d'une benne de type Shipeck

Pesant environ 60 kg, cette benne nécessite l'utilisation d'un treuil mécanique. Ce type de benne perturbe fortement l'échantillon (stratification du sédiment non conservée) et sa manipulation nécessite des précautions du fait de son poids et de la puissance des ressorts.

4.1.1.3 Autres bennes



La benne Van Veen est appropriée dans les sédiments vaseux peu profonds et permet des prélèvements sur 10 à 30 cm d'épaisseurs selon sa taille. Au contact du fond, un loquet se désengage et libère les mâchoires qui se referment par rapprochement des bras de leviers. Il convient de signaler que l'onde de choc à la descente peut perturber les sédiments fins (crème de vase) et qu'à la fermeture, le prélèvement déstructure les horizons de dépôt des sédiments. Les teneurs en eau du sédiment prélevé restent proches des matériaux en place.



La benne Smith-McIntyre (0,1 m²) est utile pour prélever des sédiments vaseux jusqu'aux graviers. La benne est descendue mâchoires ouvertes, au bout d'un câble en acier. Au moment où la benne touche le fond, le ressort qui maintient les mâchoires, est relâché, entraînant leurs fermetures, sous le poids de la benne. Cette benne nécessite un navire adapté, avec un treuil et un moyen de déportation de celui-ci. Cette benne est bien adaptée aux prélèvements de la faune benthique superficielle, y compris la faune vagile.

Cette liste n'est pas exhaustive et d'autres outils peuvent être considérés.



4.1.2 Prélèvement de carottes

Quatre types de matériel permettent le prélèvement de carottes :

- les carottiers à main pour des petits fonds (< 10 m),
- les carottiers-tubes pour obtenir des carottes longues mais de faible section,
- les carottiers-boîtes pour des prélèvements de grande section mais de faible hauteur,
- Les vibrocarottiers pour des carottes de plus grand hauteur.

4.1.2.1 Carottier à main

Manipulé en plongée, le carottier peut être enfoncé (à la main, à l'aide d'une poignée ou à la masse, pour un carottier métallique) plus ou moins rapidement dans le sédiment, permettant ainsi de limiter le tassement. Son utilisation est plus facile qu'un carottage classique à bord d'un bateau car plus léger et maniable. Par contre cet outil doit être mis en œuvre par des plongeurs expérimentés et son utilisation est limitée par la profondeur, la turbidité de l'eau et les courants. Dans de sédiments non cohésifs, il est limité à la prise de carottes ne dépassant pas 50 cm de hauteur.



Figure 11 Illustration d'une opération de carottage à la main

Il peut être fabriqué à partir de tubes en PVC (coût faible) ou en métal.

4.1.2.2 Carottier-tube de type Kullenberg

Le carottier-tube est un long tube métallique qui s'enfonce par gravité dans le sédiment. Il est constitué intérieurement d'une chemise amovible qui contiendra la carotte de sédiment, et d'un système d'obturation dans la partie inférieure.



Il se compose d'un lest pouvant atteindre 6 t sur lequel est assemblé un train de tubes acier terminé par une pièce métallique (ogive), profilée pour une bonne pénétration dans le sédiment. Le lest est accroché à un bras de levier (bras déclencheur) sur lequel est fixé un contrepoids qui réalise l'équilibre avec l'ensemble lest et tubes. Ce contrepoids peut être lui-même équipé d'un tube pour échantillonner sans perturbation l'interface eau-sédiment.

A l'intérieur des tubes, afin de recevoir la colonne de sédiment, se trouve une chemise plastique de 10 cm de diamètre dans laquelle circule un piston de même diamètre.

Figure 12 Illustration d'un carottier de type Kullenberg

4.1.2.3 Carottier-boîte

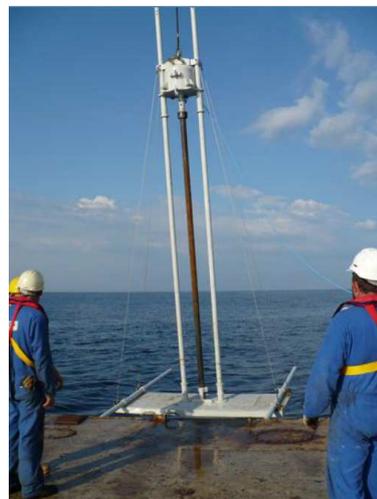


Figure 13 Illustration d'un carottier-boîte

Ce matériel est particulièrement intéressant car il allie les avantages de la benne et ceux du carottier, avec des limites d'utilisation généralement suffisantes pour des prélèvements de sédiment à des fins d'analyses géochimiques. Il s'agit d'une boîte sans fond, de section carrée (20 à 30 cm de côté, 60 à 80 cm de hauteur), qui s'enfonce par gravité dans le sédiment. Une plaque-couteau vient l'obturer par le côté en traversant la couche de sédiment. Une fois à bord, ce couteau est remplacé par une plaque amovible et la boîte est désolidarisée du bâti. L'échantillonnage se fait alors soit par couches successives, soit par plusieurs sous-échantillons de type carottes obtenues par enfoncement de tubes. Ce carottier est également utilisé pour le prélèvement d'échantillons de surface. L'utilisation d'un carottier-boîte remanie peu le sédiment et permet l'étude de la superposition des faciès et des structures sédimentaires.

4.1.2.4 Vibrocarottier

Le vibrocarottier utilise le principe de la vibration ou de la percussion qui permet à un bloc moteur de coulisser le long de mâts en enfonceant un tube aluminium dont il est solidaire. Les vibrations sont créées par un moteur électrique entraînant deux balourds excentrés et synchrones. La percussion est produite par un moteur à air comprimé. La longueur typique du tube est de 5 m, son diamètre de 0,75 m et l'ensemble a un poids de 1,2 t. Une gaine de plastique logée à l'intérieur du tube métallique permet de récupérer et de conserver intacts les échantillons. Les vibrations permettant l'enfoncement du carottier remanient significativement le sédiment lors du prélèvement. La mise en œuvre de cette technique requiert un support nautique équipé d'un portique arrière ou d'une grue.



4.1.2.5 Prescriptions spécifiques au carottage

Lorsque les opérations de carottage réalisées en vue d'analyses physico-chimiques sont mutualisées avec les opérations de carottage réalisées en vue d'analyses géotechniques, on veillera à intégrer dans le cahier des charges, des précautions spécifiques pour les prélèvements physico-chimiques. En effet ces opérations nécessitent un mode opératoire qui diffère de celui généralement appliqué aux opérations de prélèvements géotechniques. Il s'agit notamment de maîtriser et de supprimer tout risque de contamination d'échantillons, soit par exposition à des contaminants externes, soit par remaniement des matériaux.



Ces précautions portent ainsi sur la propreté du matériel et la non-utilisation de certains produits (lubrifiants par exemple), les méthodes de confinement des matériaux et les méthodes de conditionnement avant transmission aux laboratoires, etc).

4.1.3 Moyens logistiques associés

D'une manière générale, les petites bennes et les prélèvements en plongée (< 10 m) nécessitent des moyens à la mer relativement économiques (petites embarcations avec treuil, sans moyens de levage lourds). Ces moyens sont adaptés à l'échantillonnage des petits fonds côtiers et notamment des ports.

Les grosses bennes et les carottiers nécessitent des navires supports de plus grande taille disposant de mâts et treuils de levage. Certains carottiers lourds, jusqu'à plusieurs tonnes, ne peuvent être opérés qu'à partir de plateformes fixes autoélevatrices utilisées pour les sondages géotechniques. Leur coût de mobilisation et d'utilisation peut atteindre plusieurs milliers d'euros par jour.

4.1.4 Influence du mode de prélèvement sur l'intégrité de l'échantillon

Les moyens les plus adaptés pour un prélèvement de sédiment sont ceux pour lesquels l'intégrité de l'échantillon est respectée : le lessivage et le mélange de l'échantillon doivent être les plus réduits possibles afin de prélever la couche souhaitée. Même si le tassement du sédiment est rarement évité, les carottiers sont sur ce plan, des engins plus fiables que les bennes, mais les coûts associés à leur mise en œuvre freinent souvent leur utilisation (voir chapitre 4.1.3.).

À défaut, on pourra utiliser une benne, qui est généralement plus facile d'utilisation et moins coûteuse. Les bennes présentent cependant plusieurs inconvénients : la couche superficielle de sédiment est souvent perturbée (lessivage et/ou mélange). Les parties métalliques des engins de prélèvement peuvent représenter des risques de contamination pour les échantillons, notamment pour l'analyse des métaux-traces. À ce titre, les bennes en acier inoxydable seront privilégiées.

Certaines techniques peuvent modifier la composition de l'échantillon in situ. Ainsi les vibrations engendrées par un vibrocarottier peuvent entraîner le dégazage des HAP légers. Cela a été remarqué pour le naphthalène.

Le tableau 6 propose un comparatif des inconvénients et avantages de chaque technique.



Tableau 6 Tableau comparatif des différentes techniques de prélèvement des sédiments

Technique	<i>Facilité d'utilisation</i>	<i>Précision du positionnement</i>	<i>Sédiment sub superficiel</i>	<i>Sédiment > 20 cm</i>	<i>Fonds < 50 m</i>	<i>Fonds > 50 m</i>	<i>Non lessivage</i>	<i>Conservation de la stratification</i>	<i>Non tassement</i>
Carottier à main	Très satisfaisant	Très satisfaisant	Satisfaisant	Déconseillé	Très satisfaisant	Sans objet	Moyen	Peu satisfaisant	Satisfaisant
Benne Eckman	Très satisfaisant	Moyen	Très satisfaisant	Peu satisfaisant	Très satisfaisant	Sans objet	Satisfaisant	Satisfaisant	Moyen
Benne Smith-Mac Intyre	Moyen	Moyen	Satisfaisant	Déconseillé	Satisfaisant	Sans objet	Déconseillé	Déconseillé	Peu satisfaisant
Carottier boîte	Moyen	Satisfaisant	Très satisfaisant	Satisfaisant	Très satisfaisant	Satisfaisant	Très satisfaisant	Très satisfaisant	Sans objet
Carottier tube Kullenberg	Moyen	Satisfaisant	Satisfaisant	Très satisfaisant	Satisfaisant	Très satisfaisant	Très satisfaisant	Très satisfaisant	Déconseillé
Vibrocarottier	Peu satisfaisant	Satisfaisant	Satisfaisant	Très satisfaisant	Satisfaisant	Très satisfaisant	Très satisfaisant	Satisfaisant	Déconseillé

Très satisfaisant
Satisfaisant
Moyen
Peu satisfaisant
Déconseillé
Sans objet

4.2 Echantillonnage

4.2.1 Poids des échantillons pour les analyses

Le prélèvement devra fournir suffisamment de matériau pour conserver :

- les pseudo-réplicats nécessaires aux analyses courantes,
- le cas échéant, les pseudo-réplicats nécessaires à des analyses supplémentaires du contrôle qualité. Une analyse particulière peut en effet être refaite, suite à un résultat « anormal » ou à une erreur d'analyse du laboratoire, ou encore à la perte d'un échantillon. Des échantillons supplémentaires peuvent également servir à tester la robustesse des méthodes de prélèvement et des analyses du laboratoire (cf. paragraphe 5.4.).

On estime que la quantité de matériau nécessaire aux analyses est comprise entre 0,5 kg et 2 kg pour la gamme d'analyses courantes et de l'ordre de 20 kg pour l'évaluation de la dangerosité (écotoxicologie). Le laboratoire devra être interrogé sur le poids nécessaire à l'achèvement des analyses demandées.

4.2.2 Modes d'échantillonnage et quantités d'échantillons élémentaires

L'échantillon moyen doit représenter les caractéristiques physico-chimiques moyennes du sédiment de la station étudiée. Le mélange des échantillons élémentaires sera fait à volumes ou à poids identiques. Ces deux manières de procéder présentent des avantages et des inconvénients évoqués ci-après.

4.2.2.1 Mélange à volumes identiques



Ce mode de mélange est pratiqué en mer sur de petites embarcations et ne nécessite pas d'appareil de pesée. Il ne peut être pratiqué que dans le cas où les échantillons élémentaires présentent des caractéristiques physiques apparemment identiques, même texture, même couleur, et que le mode de prélèvement permet de s'assurer que les volumes sont rigoureusement identiques.

Ainsi, le cas le plus simple pour lequel ce type de mélange peut être effectué sans problème est celui où les sédiments sont homogènes en apparence et où les prélèvements sont effectués par carottage et avec des carottes de même diamètre. Dans ce cas, l'échantillon moyen sera fait avec des volumes déterminés par la longueur de carotte récupérée dans les échantillons élémentaires.

Par contre, les prélèvements à l'aide d'une benne ne permettent pas ce type de mélange car il est impossible de déterminer avec exactitude que les volumes prélevés soient identiques.

4.2.2.2 Mélange à poids identiques

Le mélange à poids identiques est assurément le moyen le plus efficace pour obtenir un échantillon moyen représentatif. Il nécessite un peson et s'effectue généralement au laboratoire ou dans des



navires généralement de grande taille possédant une alimentation électrique. Dans ce type de mélange, l'analyste mélange un poids identique de chacun des échantillons élémentaires.

Il convient de rappeler que, plus le poids de chaque échantillon élémentaire est important, plus l'échantillon moyen sera représentatif. Les poids mélangés sont généralement compris entre 200 g et 300 g de chaque échantillon élémentaire.

4.2.3 Mélange de l'échantillon moyen

Lorsque les échantillons élémentaires ont été mis ensemble, l'échantillon moyen est réalisé après mélange. La présence d'éléments grossiers, minéraux de tailles supérieures à 2 mm, coquillages, algues et phanérogames, peut être un facteur limitant l'homogénéisation de l'échantillon. Dans ce cas, leur présence sera notée sur la fiche de prélèvement et le rapport d'essai. Si ces éléments sont peu nombreux, d'un nombre ne permettant pas de prélever des aliquotes dans lesquels ils soient représentés, il convient de les enlever en le mentionnant. Par contre, dans le cas contraire, le volume ou le poids des échantillons élémentaires mélangés doit être suffisant pour pouvoir disposer de suffisamment de matériaux de taille inférieure à 2 mm pour les analyses ultérieures.

L'homogénéisation du mélange peut-être fait à l'aide d'appareillages variés, tels qu'un malaxeur électrique à palettes ou à galets et par malaxage manuel. Pour éviter toute contamination par le récipient de mélange, il est préférable d'utiliser des récipients en verre ou en porcelaine évitant les apports en matériaux plastiques.

La nature des outils pour malaxer les sédiments doit être de qualité appropriée. Dans le cas d'homogénéisation de sédiments à des fins d'analyses, il est recommandé d'utiliser des spatules en acier inoxydable.

4.2.4 Précautions relatives à la prévention de la contamination des échantillons

Les analyses réalisées sur le sédiment concernent des substances généralement présentes à de très faibles teneurs. Il est donc nécessaire de prélever avec soins les différents échantillons afin de ne pas les contaminer. On insistera notamment sur les points suivants :

- Les manipulations devront s'affranchir de sources de pollutions potentielles telles que proximité des gas d'échappement du navire, ou fond du navire confinant les eaux de cale...
- Le matériel de prélèvement doit être propre et les produits utilisés pour son nettoyage être neutres vis-à-vis des substances recherchées, notamment en cas de risque de dépôts résiduels. Le matériel propre doit être stocké à bord au sein d'une enceinte propre également de sorte à éliminer tout risque de contamination avant la mise à l'eau. Le matériel est par ailleurs nettoyé entre chaque prélèvement.
- Le préleveur porte des gants en polyéthylène ou nitrile durant la manipulation.
- Le sous-échantillonnage est réalisé avec une spatule propre, compatible avec l'analyse des traces (polyéthylène ou téflon traité pour les métaux, inox pour les contaminants organiques...).



- Lorsque le prélèvement est réalisé à partir d'un équipement métallique, l'échantillon destiné à l'analyse des métaux est prélevé au cœur de l'échantillon, dans une zone qui n'a pas été en contact avec les parois du matériel¹¹.
- Une fiche descriptive des prélèvements et de la constitution des échantillons est établie.

4.3 Préparation et conservation des échantillons

4.3.1 Flaconnage

Tous les flaconnages sont fournis par le laboratoire au préleveur. Le laboratoire devra fournir des flacons « propres », testés au préalable afin de s'assurer de l'absence de contamination. Le laboratoire est responsable des flaconnages fournis ainsi que des consignes de conditionnement de conservation et de transport.

Le laboratoire fournit donc au préleveur autant de flacons qu'il juge nécessaire selon les polluants à analyser et les pratiques du laboratoire. Ces flacons doivent être assez volumineux pour permettre l'échantillonnage du sédiment en quantités suffisantes.

Le laboratoire peut par exemple fournir deux types de flacons clairement identifiés selon les contaminants analysés :

- verre teinté pour les composés organiques traces,
- polyéthylène, polypropylène ou polystyrène cristal pour les métaux.

De plus, il est important de :

- ne pas utiliser de flacons en plastique en cas d'analyse des phtalates,
- utiliser des flacons à col large,
- remplir les flacons de manière à éviter qu'ils ne cassent pendant la congélation,
- remplir à ras-bord les flacons dédiés à l'analyse de l'eau interstitielle et des contaminants volatiles, afin de limiter au maximum l'oxydation de l'échantillon (NF EN ISO 5667-15, 2009).

4.3.2 Conditionnement et transport des échantillons vers le laboratoire

La responsabilité et la logistique du transport doivent être précisément définies en amont des opérations avec le laboratoire responsable des analyses qui met les flacons ainsi que le matériel de conditionnement et de conservation (glacière par exemple) à disposition. Il est recommandé que le laboratoire assure le transport. Il faut éviter de multiplier les intervenants pour les opérations de prélèvement et d'analyses. Deux options sont possibles :

- le préleveur assure le conditionnement et le transport vers le laboratoire,
- le préleveur assure le conditionnement (matériel de conditionnement fourni par le laboratoire) et le laboratoire assure le transport.

Les flacons sont étiquetés clairement et les renseignements nécessaires à la bonne qualification du prélèvement ainsi qu'au bon conditionnement des échantillons sont consignés sur une fiche (voir modèle de fiche en [annexe 3](#)). Les flacons sont emballés hermétiquement. Les échantillons doivent être réfrigérés lors du transport, à l'abri de la lumière et livrés au laboratoire dans les 24 heures

¹¹ Cette manipulation peut être difficile lorsqu'on utilise une benne Van Veen.



suivant l'échantillonnage. Une température comprise entre 2 et 8°C est recommandée (NF EN ISO 5667-15, 2009).

Au laboratoire, la durée de stockage des échantillons devra être réduite au maximum avant de porter les analyses et particulier les tests écotoxicologiques. A titre indicatif, les prescriptions de stockage sont détaillées dans le tableau 7.

Tableau 7 Conditions et durée de stockage au laboratoire (source : Environnement Canada)

<i>Paramètres</i>	<i>Durée de stockage</i>	<i>Conditions de stockage</i>
Analyse chimiques sur sédiment brut	2 semaines max	Conservation à l'obscurité dans un réfrigérateur à $4 \pm 2^\circ\text{C}$
	6 mois max	Conservation à l'obscurité dans un congélateur à -20°C
Analyse chimique sur eau interstitielle	Procéder aux analyses immédiatement pour éviter toutes transformations physico-chimiques	
Test écotoxicologique	2 semaines max	Conservation à l'obscurité dans un réfrigérateur à $4 \pm 2^\circ\text{C}$

5. Etape 4 : Analyses à mener au regard de la réglementation et du contexte local

5.1 Propriétés physiques de base

Dans tous les cas, les propriétés physiques des sédiments doivent être déterminées pour connaître le comportement des sédiments pendant les opérations de dragage et d'immersion des matériaux, et savoir si des analyses chimiques et/ou biologiques sont nécessaires.

L'analyse des éléments suivants est requise :

- **Granulométrie** : distribution en masse de la taille des particules (pourcentages cumulés et relatifs), détermination du pourcentage de fractions fines inférieures à 63 micromètres déterminant le taux d'envasement des sédiments (cf. tableau 8) ; paramètres caractéristiques : moyenne, médiane, écart-type, rapport moyenne / médiane. Les résultats d'une analyse granulométrique de sédiment sont présentés, à titre d'exemple, dans [l'annexe 7](#).

Tableau 8. Classification granulométrique d'après Larssonneur
(en % de masse de fractions fines < 63 micromètres)

% Fraction pélitique	Taux d'envasement du sédiment
< 10 %	Sédiment de sable pur
10 - 20 %	Sédiment sableux peu envasé
20 - 40 %	Sédiment sableux envasé
40 - 60 %	Sédiment très envasé à dominante de sables
60 - 80 %	Sédiment très envasé à dominante de vases
> 80 %	Sédiment de vases pures

- **Matières sèches** (%),
- **Densité**,
- **Teneur en Aluminium**, sur la fraction inférieure à 2 mm,
- **Matière organique** exprimée sous forme de carbone organique total (COT), sur la fraction inférieure à 2 mm.



Tous les sédiments doivent-ils faire l'objet d'analyses chimiques ?

Au vu des caractéristiques de leurs propriétés physiques, certains matériaux de dragage sont susceptibles d'être exemptés des autres phases d'analyses s'ils satisfont à l'un des critères stipulés ci-dessous :

- ils sont composés de matériaux géologiques jusqu'alors intacts ;
- ils sont presque exclusivement composés de sable, gravier ou roche ;
- le milieu dans lequel ils se trouvent se caractérise par l'absence de sources appréciables de pollution, ce qui doit être étayé par des analyses de micropolluants datant de moins de 3 ans.

Les matériaux de dragage ne répondant pas à l'un ou l'autre de ces critères doivent faire l'objet d'une caractérisation plus poussée, afin de pouvoir apprécier leurs effets potentiels sur le milieu marin.

Extrait de la circulaire n° 2000-62 du 14 juin 2000

5.2 Paramètres chimiques de base

La gamme « réglementaire » des paramètres chimiques de base permet de couvrir la plupart des situations courantes de contamination rencontrées dans les opérations de dragage : extension ou entretien d'un bassin portuaire, entretien périodique d'un chenal d'accès d'un port d'estuaire, extraction de matériaux préalable à la pose de canalisations ou de câbles sous-marins, extraction de sables destinés au rechargement de plages, etc. ... Ils permettent aussi de caractériser les sédiments susceptibles d'être contaminés par des activités particulières : aire de carénage (cuivre, zinc, cadmium, TBT), aire d'avitaillement (HAP).

Pour mémoire, la liste des paramètres chimiques est précisée dans les tableaux de l'arrêté du 9 août 2006 et des arrêtés complémentaires (cf. chapitre 2.1.1.).

- Tableau II. Eléments traces (métaux)
- Tableau III. Polychlorobiphényles (PCB)
- Tableau III bis. Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)
- Tableau III ter. Tributylétain (TBT)¹²

5.3 Autres paramètres dépendant du contexte local

Selon les informations disponibles sur :

- les sources de contamination (sources ponctuelles ou diffuses), ou sur les apports historiques,
- et les cibles environnementales sensibles (zones de cultures marines, de baignade, de prélèvement d'eau de mer, ...),

d'autres paramètres sont susceptibles de devoir être mesurés, comme les nutriments, les bactéries, d'autres chlorobiphényles, des pesticides organochlorés ou organophosphorés, d'autres agents antisalissures, la radioactivité...

¹²Les produits de la dégradation du TBT (MBT et DBT) sont dosés lors de l'analyse de ce dernier mais ne sont pas réglementés. Ces produits sont également toxiques, mais moins que ne le sont les TBT. L'intérêt de doser les produits de dégradation est de pouvoir préciser l'historique de la contamination. Ainsi une proportion forte de TBT mais faible de MBT/DBT signifie que la contamination par le TBT est récente. A l'inverse, une concentration forte en MBT/DBT témoigne d'une pollution plus ancienne.



5.3.1 Nutriments

Le dosage de l'azote (Azote Total Kjeldahl NTK)¹³ et du phosphore total (PT) doit être envisagé si les matériaux sont extraits ou déversés dans des zones sensibles à l'eutrophisation : milieu confiné (port, baie à faible renouvellement hydrodynamique, lagune littorale) et/ou susceptible d'être influencé par des apports significatifs en nutriments, La pratique montre que le dosage des nutriments est fait quasi systématiquement dans les analyses préalables des sédiments à draguer.

5.3.2 Microbiologie

La charge des sédiments marins en microorganismes pathogènes est liée aux rejets d'eaux usées provenant des effluents des stations d'épuration urbaines, des rejets d'eaux pluviales, ou encore des rejets directs dont notamment ceux des bateaux de plaisance non équipés en systèmes de rétention. Certains peuvent être natifs de l'environnement marin.

Des analyses bactériologiques s'avèrent pertinentes si l'opération se situe à proximité de zones supportant des activités conchylicoles, de cultures marines, de pêche à pied ou de baignade (plages, navires de plaisance concentrés sur une zone de mouillage par exemple). Pour rappel, la rubrique 4.1.3.0.: « Dragage et / ou rejet y afférent en milieu marin »¹⁴ prend en compte dans ses critères, la localisation des sédiments à draguer par rapport à des zones conchylicoles ou de cultures marines situées à plus ou moins un kilomètre de distance.

Il n'est pas techniquement possible de mesurer l'ensemble des germes (virus et bactéries) présents dans les sédiments ou la colonne d'eau et la caractérisation de leur pouvoir pathogène est ainsi définie au travers de germes indicateurs. La pollution par les eaux usées étant la cause majoritaire de contamination, on choisit des germes indicateurs de la contamination fécale : les *Escherichia coli* et les entérocoques intestinaux.

Il convient de rappeler que l'intérêt de réaliser ces analyses doit être évalué au regard de leurs contributions à l'évaluation des risques environnementaux et sanitaires du projet. Réalisées en amont du projet, elles permettent d'évaluer l'exposition des sédiments de dragage à une ou plusieurs sources de contamination fécale et donc de renseigner sur un risque bactériologique.

5.3.3 Phytoplancton (kystes)

Certaines espèces du phytoplancton sécrètent des toxines : les phycotoxines. On en dénombre aujourd'hui 70 espèces appartenant majoritairement à la classe des Dinophycées (ou Dinoflagellés). Ces toxines se dispersent dans l'eau, potentiellement sur de vastes étendues. Elles peuvent s'accumuler dans la chair des animaux qui se nourrissent du phytoplancton (coquillages, poissons), à des concentrations qui peuvent nuire à la santé des consommateurs.

La présence dans les sédiments d'espèces de phytoplancton toxiques est essentiellement liée à leur présence sous forme de kystes.

Le risque de dispersion de ces kystes doit être considéré quelle que soit la période de dragage, tandis que le risque lié à leur germination doit être considéré principalement lorsque les conditions sont favorables au développement phytoplanctonique, c'est-à-dire essentiellement au printemps et en été.

¹³ L'Azote Total Kjeldahl (NTK) est une appellation qui désigne la somme de l'azote ammoniacal et de l'azote organique.

¹⁴Cf paragraphe 2.2.1.



Les bulletins d'Information et d'alerte, du réseau de surveillance du phytoplancton toxique REPHY¹⁵, et l'évolution historique de leurs développements, permettent d'appréhender le risque de la présence de formes enkystées de phytoplancton toxique sur un secteur donné. L'analyse de la proximité d'usages sensibles (zones conchylicoles, zones de pêche à pied), doit conduire à identifier les risques spécifiques à leur présence et à leur développement. Sur certains secteurs sur lesquels des études spécifiques ont été menées par l'Ifremer ou des laboratoires universitaires spécialisés, l'analyse des risques mérite d'être enrichie par la consultation de ces organismes.

En cas de suspicion, l'analyse de la présence de kystes permet d'évaluer correctement les risques liés à la remobilisation des sédiments, et d'adapter les modalités opératoires le cas échéant.

La recherche de kystes (sexués) qui sont benthiques, se fait essentiellement pour les dinoflagellés ou dinophycées toxiques qui présentent une phase planctonique et une phase benthique.

5.3.4 Radionucléides

L'évaluation du risque de présence de radionucléides et d'activité radioactive significative dans les sédiments doit distinguer :

- les **radionucléides artificiels** ayant pour origine des activités humaines : le risque de présence est essentiellement apprécié au regard des activités établies sur le bassin versant et à la côte. Les activités potentiellement émettrices sont les centrales nucléaires, les centrales de traitement de combustibles nucléaires, les sites et ports militaires présentant une activité nucléaire, les centres hospitaliers pratiquant des radiodiagnosics et des radiothérapies et les stations d'épuration auxquelles ils sont reliés. Les sources plus éloignées et induisant des contaminations atmosphériques peuvent aussi être à l'origine de radionucléides dans les sédiments (essais d'armes nucléaires, accidents nucléaires (Tchernobyl)).
- les **radionucléides naturels** ayant une origine tellurique et/ou atmosphérique, présents naturellement dans l'environnement, et dont la présence peut-être localement accrue par l'existence d'une activité minière ou de transformation de minerais.

En cas de suspicion d'activité radioactive anormale, l'évaluation de la pertinence de mesurer l'activité de radionucléides dans les sédiments peut être réalisée avec l'appui de l'IRSN, à même de disposer d'une vision à la fois globale et locale des risques de présence de radionucléides artificiels ou naturels sur un secteur géographique donné. Le cas échéant, l'IRSN¹⁶ peut être en mesure d'appuyer le maître d'ouvrage sur la définition des radionucléides à mesurer.

¹⁵ Le REPHY (Réseau d'Observation et de Surveillance du Phytoplancton et des Phycotoxines), mis en œuvre par Ifremer, comprend, parmi ses actions, la détection et le suivi des espèces phytoplanctoniques productrices de toxines, et la recherche de ces toxines dans les coquillages présents dans les zones de production ou dans les gisements naturels. Depuis 2014, les bulletins de résultats de cette surveillance sont mis en ligne en temps réel à l'adresse suivante : <https://envlit-alerte.ifremer.fr>.

¹⁶ Institut de Radioprotection et de Sureté Nucléaire



5.3.5 Substances chimiques spécifiques

Des analyses de substances chimiques complémentaires à celles prévues par l'arrêté du 9 août 2006 doivent être considérées dès que les périmètres envisagés pour le dragage et l'immersion sont susceptibles d'avoir fait l'objet d'apports spécifiques dans le passé.

Exemple 6

La chlordécone est une molécule organochlorée qui a été utilisée dans le passé comme insecticide, afin de lutter, entre autres, contre le charançon du bananier dans les Antilles françaises. Les nombreuses études menées sur ce pesticide ont montré une contamination avérée de la faune marine colonisant les fonds de baie au pied de bassins versants contaminés et touchant notamment, dans ces milieux, les espèces vivant en relation avec les sédiments vaseux. Des différences significatives de la teneur en chlordécone ont cependant été trouvées au débouché des rivières dans des baies géographiquement proches, mais ayant une dynamique sédimentaire différente¹⁷. Aux Antilles, une opération de dragage au débouché d'une rivière drainant un bassin versant agricole, et l'immersion éventuellement afférente, devra prendre en compte cette molécule particulière.

Exemple 7

Dans un contexte de bassin versant industriel particulier, le port de Dunkerque a choisi d'étendre le suivi de la qualité des sédiments des zones d'immersion aux dioxines et aux furanes, éléments dont l'analyse est également effectuée dans la colonne d'eau au travers d'organismes bio-accumulateurs.¹⁸

Exemple 8

Un dragage au droit d'un quai faisant l'objet d'une protection cathodique, par exemple à l'aide d'anodes en aluminium-indium, doit impliquer d'ajouter à la liste des métaux à analyser, les composés constitutifs de ces anodes, selon le type de protection cathodique : l'aluminium, l'indium, le zinc et le magnésium.

Exemple 9

L'embarquement et le débarquement de navires vraquiers (charbon, minerai, soufre, phosphates, engrais, produits pulvérulents, céréales...) peuvent s'accompagner de pollutions chroniques (chute ou envol de matériaux dans l'eau) ; de même le stockage de matériaux en vrac sur un terre-plein proche d'un bassin portuaire, peut entraîner des matières dans l'eau par le vent ou le ruissellement. Dans ces situations, s'il est projeté de draguer les fonds devant un quai vraquier, on enquêtera sur la nature des vracs débarqués et l'historique des trafics passés. Cette réflexion conduira à rechercher des paramètres spécifiques : manganèse, cobalt, fer pour le charbon et les minerais ; azote et phosphore pour les engrais ; COT pour les céréales.

¹⁷ Robert S., 2011. Historique de la contamination des sédiments littoraux des Antilles françaises par la chlordécone (ChloSed). Rapport final de convention MAAP-Ifremer. Ifremer.

¹⁸ GPMD, 2010. Présentation des programmes de suivi et de surveillance environnementale.



5.3.6 Paramètres supplémentaires de la DCE et de la DCSMM

5.3.6.1 La directive cadre sur l'eau (DCE)

La DCE impose, pour atteindre le bon état chimique des eaux, le respect des normes de qualité environnementales¹⁹ (NQE) pour une liste donnée de substances fournie dans l'annexe 5 (Article 2, alinéa 24 de la DCE et Circulaire 2007/23 du 7 mai 2007). On distingue :

- 33 substances (ou groupes de substances) prioritaires (SP) Article 16, alinéa 1 : polluants ou groupe de polluants présentant un risque significatif pour ou via l'environnement aquatique, dont des substances dangereuses prioritaires (SDP) Article 2, alinéa 29 : substances ou groupes de substances qui sont toxiques, persistantes et bioaccumulables,
- et aussi 8 autres substances provenant du PNAR²⁰ qui appartiennent à la liste I, ont fait l'objet d'une directive et ne font pas déjà partie de l'annexe X de la DCE.

5.3.6.2 La directive cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM)

La DCSMM a pour objectif de prendre toutes les mesures nécessaires pour réaliser ou maintenir un bon état écologique du milieu marin au plus tard en 2020, en appliquant à la gestion des activités humaines une approche fondée notamment sur la notion d'écosystème. Le bon état écologique correspond à un bon fonctionnement des écosystèmes (aux niveaux biologique, physique, chimique et sanitaire) permettant un usage durable du milieu marin.

Onze descripteurs qualitatifs, communs à tous les États membres de l'Union européenne, servent à définir le bon état écologique²¹. Le **descripteur 8** correspond aux substances chimiques pouvant présenter des impacts sur la biodiversité marine, les écosystèmes marins ou les usages légitimes de la mer (annexe 6).

Ces substances sont les suivantes :

- les substances listées à l'annexe 8 de l'arrêté du 25 janvier 2010,
- les substances listées par la convention OSPAR,
- des substances persistantes, bioaccumulables et toxiques, dites « PBT »,
- des substances anti-salissures introduites directement dans le milieu marin,
- des substances dites émergentes : composés perfluorés, pharmaceutiques, et nanomatériaux.

Parmi ces substances sont retenues celles pour lesquelles des seuils de concentrations environnementales et un guide technique d'analyse sont disponibles ou en cours d'élaboration.

Depuis 2010, le REPOM prend en compte :

- les substances identifiées dans le cadre de la DCSMM pour la définition du bon état écologique des eaux marines
- ainsi que les substances prioritaires de la DCE pertinentes pour la fraction sédiment.

¹⁹ La NQE est la concentration d'un polluant ou groupe de polluants qui ne doit pas être dépassée pour protéger la santé humaine et l'environnement. Elle permet de distinguer le mauvais état chimique (concentration > NQE) et du bon état chimique (concentration < NQE).

²⁰ Programme national de réduction de la pollution.

²¹ Arrêté du 17 décembre 2012 relatif à la définition du bon état écologique des eaux marines.



Dans le cahier des charges pour la mise en œuvre du programme du REPOM²², le volet « sédiment » modifié inclut ainsi le suivi des substances réglementées dans le cadre des opérations de dragage (ETM, TBT, PCB, HAP), mais également des organochlorés, dioxines, furanes, phénols, composés bromés (HBCD, PBDE), phtalates, HCH...

Dans le cadre de la prise en compte de la DCSMM et de la DCE et de ses objectifs de respect des normes de qualité environnementale, il peut donc être demandé aux opérateurs de dragages, des analyses spécifiques des substances pertinentes susceptibles d'être présentes dans un sédiment (en lien avec les propriétés physiques et apports).

Au vu du nombre de substances prioritaires visées, de la répartition géographique parfois très restreinte de ces substances et du coût des analyses, il convient d'adopter une démarche d'identification par l'amont du risque de présence de ces molécules dans les masses d'eau et les sédiments.

5.3.7 Cas particulier des tests d'écotoxicité

L'étude de la toxicité du sédiment est basée sur la présence d'une ou plusieurs substances potentiellement toxiques, pouvant provoquer un effet biologique négatif sur les espèces environnantes. Elle permet de mesurer la toxicité aiguë du matériau à partir de l'effet global des contaminants présents, de leurs interactions et leurs biodisponibilités, sans pour autant permettre une spécification de ou des paramètres de contamination.

La toxicité est généralement évaluée en mesurant la CE 50 (concentration efficace) ou la CL 50 (concentration létale), c'est-à-dire, la concentration à laquelle on observe un effet ou une mortalité de 50 % des individus.

Ces tests ne sont généralement pas menés d'emblée, mais déclenchés à la suite d'une première analyse physico-chimique du sédiment permettant d'apprécier ses différents teneurs en contaminants et de mieux appréhender les risques liés à leur remobilisation dans la colonne d'eau.

Trois types de tests écotoxicologiques peuvent être distingués, à savoir ceux réalisés :

- en complément des analyses chimiques vis-à-vis de l'immersion en mer en cas de dépassement de seuils N1/N2 (les tests sont ceux préconisés par Ifremer/Geodrisk tels que larves d'huîtres...)
- pour caractériser l'évaluation de la dangerosité des matériaux « HP1 à HP15 », vis-à-vis de la réglementation « déchets », dès lors qu'une gestion à terre des sédiments dragués est envisagée,
- pour analyser le critère de dangerosité « HP14 ».

²² REPOM. Cahier des charges pour la mise en œuvre du programme. CEREMA. Janvier 2015.



5.3.7.1 Tests en complément des analyses chimiques vis-à-vis de l'immersion en mer en cas de dépassement de seuils N1/N2

Exemple 10

L'arrêté d'autorisation des dragages d'entretien du Grand Port Maritime de le Havre autorise à immerger des sédiments dont les concentrations sont comprises entre N1 et N2 et sous la condition suivante : « A tout échantillon prélevé et analysé, est associé le score GEODRISK²³ correspondant. Si le score de danger dépasse 1,5, le sédiment correspondant n'est pas immergé sans une étude toxicologique préalable avec accord du service de Police de l'Eau ».

Le GPMH n'a pas eu à constater un dépassement de ce score GEODRISK l'obligeant à réaliser un test d'écotoxicologie. Dans le cas où un dépassement serait relevé, le protocole prévoit une contre-analyse pour confirmer le premier résultat avant de circonscrire la zone impliquée puis, le cas échéant, un test d'écotoxicologie serait réalisé.

Le GPMH réalise cependant quelques tests d'écotoxicologie non imposés réglementairement (test d'embryotoxicité sur les larves d'huîtres avec la grille de toxicité Geodrisk associée).

5.3.7.2 Tests pour caractériser l'évaluation de la dangerosité des matériaux « HP1 à HP15 », vis-à-vis de la réglementation déchets

La directive cadre « déchets »²⁴ constitue le cadre réglementaire communautaire de l'évaluation de la dangerosité des déchets. Un projet de décret transposant ces textes en droit français dans le Code de l'Environnement est en cours d'adoption.

Les textes réglementaires européens parus en décembre 2014, d'application au 1^{er} juin 2015, redéfinissent les propriétés de danger attribuées aux déchets (**HP 1 à HP 15**) et leurs méthodes d'évaluation, ainsi que la liste européenne des déchets.

Un guide²⁵ fait la synthèse des informations, références et méthodes nécessaires pour classer un déchet comme dangereux ou non dangereux, au sens de la réglementation déchets.

Sont ainsi introduites deux méthodes pour évaluer la dangerosité d'un déchet :

- l'attribution d'un code de la liste des déchets,
- l'évaluation des propriétés de danger.

Ces deux méthodes doivent être mises en œuvre l'une après l'autre ; la première permet en effet dans certains cas de trancher la question de la dangerosité d'un déchet simplement par attribution d'un code de la liste. L'évaluation de la dangerosité via la vérification des 15 propriétés de danger n'est effectuée que si la liste des déchets ne permet pas de trancher – le déchet pouvant être classé dans un code avec ou sans astérisque – ou ne dispose pas de code.

²³ GEODRISK est une démarche d'analyse des risques environnementaux dus aux sédiments contaminés, mise au point par GEODE. Le score de risque est compris entre 0 et 3. Pour plus de détails, se reporter au paragraphe 7.3.2.

²⁴ Directive n°2008/98/CE du 19/11/2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives.

²⁵ INERIS. Classification réglementaire des déchets. Guide d'application pour la caractérisation en dangerosité. INERIS-DRC-15-149793-06416A. Février 2016.



Les propriétés de danger HPxx permettant d'évaluer la dangerosité d'un déchet sont les suivantes (cf. annexe III de la directive cadre déchets) :

- HP 1 « Explosif »,
- HP 2 « Comburant »,
- HP 3 « Inflammable »,
- HP 4 « Irritant – irritation cutanée et lésions oculaires »,
- HP 5 « Toxicité spécifique pour un organe cible (STOT) / toxicité par aspiration »,
- HP 6 « Toxicité aigüe »,
- HP 7 « Cancérogène »,
- HP 8 « Corrosif »,
- HP 9 « Infectieux »,
- HP 10 « Toxique pour la reproduction »,
- HP 11 « Mutagène »,
- HP 12 « Dégagement d'un gaz à toxicité aigüe »,
- HP 13 « Sensibilisant »,
- HP 14 « Ecotoxique »,
- HP 15 « Déchet capable de présenter une des propriétés dangereuses susmentionnées que ne présente pas directement le déchet d'origine ».

Les méthodes d'évaluation des propriétés de danger des déchets peuvent se répartir en trois catégories (cf. annexe III de la directive cadre déchets).

Méthodes d'évaluation	Propriétés de danger
Réalisation de tests	HP 1, HP 2, HP 3, HP 12 et HP 14
Connaissance en substances du déchet et application de règles de calcul	HP 4, HP 5, HP 6, HP 7, HP 8, HP 10, HP 11 et HP 13
Aucune méthode d'évaluation. L'attribution se fait <i>a priori</i> sur la base de la connaissance du déchet et de son origine.	HP 9 et HP 15

5.3.7.3 Tests réalisés dans le cadre de l'analyse du critère de dangerosité HP14

Bien que l'écotoxicité soit la propriété de danger la plus fréquemment observée sur les déchets, la propriété HP14 ne dispose actuellement d'aucune méthode d'évaluation ayant un statut réglementaire. Au niveau national, une batterie de tests applicable spécifiquement aux sédiments (eau douce et eau de mer) a été proposée en 2009 par le groupe de travail « sédiments » du Ministère en charge de l'Environnement.

Le groupe de travail « Dangerosité des sédiments », piloté par le Ministère en charge de l'Environnement, a défini en 2009, dans le cadre de l'application de la Directive Cadre sur les Déchets, un protocole permettant l'évaluation de la dangerosité des sédiments marins et continentaux au titre de la propriété HP 14²⁶.

²⁶ Groupe de travail « dangerosité des sédiments » du MEEDDM pour la mesure du paramètre HP 14 sur les sédiments marins et continentaux, document du 30 juin 2009



Ce protocole est également décrit dans un rapport du BRGM²⁷, a été testé sur de nombreux sédiments²⁸.

L'évaluation de la dangerosité au regard de la propriété écotoxique est réalisée via une démarche graduée, représentée sur la Figure 10 dans le paragraphe 6.2.5.2.

5.3.8 Macro-déchets

Notons enfin la problématique des macro-déchets que les immersions peuvent contribuer à transférer depuis certaines zones d'accumulation que sont les fonds de bassins portuaires vers le milieu naturel.

Dans des contextes de forte anthropisation, il peut s'avérer opportun de caractériser leur présence dans les matériaux à draguer au stade de l'état initial. Cette connaissance favoriserait la mise en œuvre de mesures adaptées pour le traitement de cette problématique (criblage et dépôt à terre).

Par ailleurs, cette caractérisation peut permettre d'apprécier qualitativement les résultats des analyses chimiques (présence d'écaillés de peinture pouvant expliquer de fortes concentrations en cuivre ou TBT par exemple).

Le plus souvent, cette caractérisation se fait par une observation visuelle et la prise de photographies des sédiments prélevés ; l'analyse est qualitative.

²⁷ Mouvet C. (2012) - Protocole pour l'évaluation de l'écotoxicologie de sédiments destinés à une gestion à terre. Rapport final. BRGM/RP-60835-FR, 15 p.

²⁸ Mouvet C. (2013) - Test du protocole d'écotoxicologie (critère H14) pour l'évaluation du caractère dangereux de sédiments destinés à une gestion à terre. Rapport final. BRGM/RP-61420-FR, 51 p.

6. Etape 5 : Réalisation des analyses

6.1 Capacités des laboratoires d'analyse

Compte-tenu du contexte et de ses propres compétences, un maître d'ouvrage peut être amené à regrouper ou dissocier les marchés qu'il passe pour les prélèvements des matériaux et pour les analyses associées²⁹.

Quel que soit le schéma retenu, le laboratoire en charge de réaliser les analyses devra disposer des capacités adéquates à l'analyse des substances ou des micro-organismes considérés. Afin de s'assurer de ces capacités, le Maître d'ouvrage intégrera un certain nombre de critères de sélection à son cahier des charges. Le cas échéant, les analyses devront être confiées à des laboratoires spécialisés différents présentant des compétences complémentaires et permettant d'assurer le spectre complet des analyses requises du fait du contexte du projet.

6.1.1 Notions d'accréditation et d'agrément³⁰

Dans le domaine de l'environnement, la qualification des laboratoires en termes d'analyses peut se faire à deux niveaux : l'accréditation et l'agrément.

- **L'accréditation** atteste de la compétence technique des laboratoires pour effectuer des tâches spécifiques. L'accréditation apporte la garantie que les résultats sont obtenus selon des méthodes validées et des procédures conformes à des référentiels précis. L'accréditation est délivrée en France par le Comité Français d'Accréditation (COFRAC), suite à une demande faite par le laboratoire qui souhaite être accrédité. L'accréditation va apporter la garantie que le laboratoire travaille en appliquant la norme EN ISO/CEI 17 025. Lors des audits d'accréditation, sont en particulier évalués la qualification des personnels, les équipements, les méthodes.

Chaque accréditation porte sur un couple matrice / paramètre spécifique (par exemple : mesure de l'arsenic sur la matrice sédiment, mesure du cuivre sur la matrice eau résiduaire, etc). Les laboratoires sont ainsi accrédités pour les couples matrice / paramètre pour lesquels ils ont spécifiquement mené les démarches de demande d'accréditation nécessaires.

La détention d'une accréditation par un laboratoire pour un couple matrice / paramètre donné est une indication :

- de la reconnaissance par le COFRAC de la capacité de ce laboratoire à réaliser cette analyse ;
- de la démarche d'assurance qualité mise en place par le laboratoire (maintien de cette capacité dans le temps et audits réguliers visant à contrôler la qualité de son processus d'analyse).

Pour un maître d'ouvrage souhaitant faire réaliser une analyse de sédiments en vue d'une opération de dragage, l'accréditation constitue donc un justificatif de la reconnaissance par le COFRAC de la qualité des méthodes mises en œuvre au sein d'un laboratoire pour l'analyse du couple matrice / paramètre considéré.

²⁹ On rappellera qu'en cas de marché dissocié, il est impératif de bien préciser qui est responsable du conditionnement et du transport. En outre, il est recommandé de ne pas avoir plus de deux opérateurs pour le prélèvement, le transport, le conditionnement et l'analyse.

³⁰ Audit du dispositif d'agrément des laboratoires intervenant dans le domaine de l'eau, CGEDD, 2013



A noter que l'accréditation n'est pas une obligation réglementaire imposée aux laboratoires et qu'elle résulte d'une démarche volontaire de leur part. Payante, cette démarche est donc entreprise par les laboratoires compte-tenu de leur stratégie de développement et de l'exigence des marchés sur lesquels ils souhaitent se positionner. Un même laboratoire peut ainsi disposer d'accréditations sur tout ou partie des analyses qu'il maîtrise. Le Maître d'ouvrage pourra considérer les accréditations comme l'un des éléments d'appréciation du critère technique des laboratoires candidats.

A noter enfin que l'accréditation :

- peut être donnée à la fois vis-à-vis de l'application d'une méthode d'analyse normalisée, ou d'une méthode d'analyse dite interne, c'est-à-dire développée spécifiquement par le laboratoire (cf. sous-chapitre relatif aux méthodes d'analyse pour plus de précisions).
 - ne vise pas en revanche à qualifier précisément les performances des laboratoires (limites de quantification et incertitudes obtenues par exemple), et demeure peu précise quant aux fréquences et natures d'essais inter-laboratoires à mettre en œuvre.
- **L'agrément** constitue de ce fait un second mécanisme sur lequel le ministère chargé de l'écologie s'appuie pour mettre en œuvre la directive 2009/90/CE, dite « QA/QC » et qui précise notamment les limites de quantification à respecter.

L'arrêté du 27 octobre 2011 portant modalités d'agrément des laboratoires effectuant des analyses dans le domaine de l'eau et des milieux aquatiques au titre du code de l'environnement ne prévoyant pas d'agrément pour la matrice « sédiment salé », la capacité des laboratoires à analyser des sédiments ne peut ainsi pas être évaluée sur la base de leur détention d'un agrément pour cette matrice.

Pour cette raison, il est recommandé à chaque Maître d'Ouvrage d'intégrer à son cahier des charges, et en complément de toute demande d'accréditation, des critères spécifiques aux limites de quantification pratiquées par le laboratoire ainsi qu'à sa participation à des essais inter-laboratoires pour tout ou partie des couples matrice / paramètre considéré.

6.1.2 Notions de limites de détection et de quantification³¹

6.1.2.1 Rappel des définitions

- *Limites de détection (LD)*

La limite de détection d'une méthode est la plus basse concentration pouvant être détectée, avec une incertitude acceptable, mais non quantifiée dans les conditions expérimentales décrites de la méthode.

- *Limites de quantification (LQ)*

Selon la norme NF T 90-210, la limite de quantification correspond à la plus petite grandeur d'un paramètre à examiner dans un échantillon pouvant être déterminée quantitativement dans des conditions expérimentales décrites dans la méthode avec une exactitude définie (note : dans le cadre de cette norme, une valeur maximale d'exactitude de 60 % est exigée pour un niveau de confiance de 95 %).

³¹ La notion de limite de quantification s'applique ici essentiellement à l'analyse de substances chimiques.



6.1.2.2 Limites de quantification (LQ) relatives aux analyses de sédiments associés à des opérations de dragage et d'immersion en milieu marin et estuarien

Une attention particulière doit être apportée à la valeur des LQ pratiquées par les laboratoires au regard des valeurs des seuils N1 pour les substances faisant l'objet de tels seuils. En effet, à chaque mesure de substances dans un sédiment, est associée une incertitude plus ou moins importante, fonction notamment des méthodes utilisées et des concentrations de la substance dans le sédiment. Dans ce contexte, le raisonnement simplifié suivant peut être tenu : plus la concentration de la substance est proche de la concentration limite de quantification, plus l'incertitude est grande. De ce fait, il n'est pas rare que les limites de quantification soient associées d'incertitudes de plusieurs dizaines de %. Afin que les résultats d'analyse puissent être interprétés avec un degré de confiance suffisant, notamment vis-à-vis des procédures que ces résultats sont susceptibles de déclencher ou non, il est en effet nécessaire que ces valeurs ne soient pas trop proches l'une de l'autre.

➤ Il est ainsi préconisé de faire appliquer des LQ inférieures d'au moins un ordre de grandeur aux seuils N1 associés.

Pour information, l'[annexe 7](#) synthétise, pour l'ensemble des paramètres à analyser dans le cadre du programme REPOM « sédiments », les limites de quantification préconisées dans le cahier des charges pour la mise en œuvre de ce programme³². A noter que ces valeurs sont inférieures d'au moins un ordre de grandeur aux valeurs des seuils N1 pour la majorité des substances concernées à l'exception du mercure, de certains HAP et de certains PCB.

A noter que le degré de précision des LQ exigé par un Maître d'ouvrage a un impact direct sur les méthodes employées par les laboratoires, et *a fortiori* sur les coûts des analyses. En effet, la recherche de précision peut nécessiter de s'orienter vers une process d'analyse plutôt qu'un autre, et donc de se référer à différentes normes, voire de développer des méthodes internes. La conséquence des prescriptions en matière de LQ sur les délais, les coûts et le nombre même de laboratoires en capacité d'effectuer l'analyse, doit être appréciée par le Maître d'ouvrage.

6.1.3 Cas particulier des analyses de radionucléides

Conformément à l'article R.1333-11 du Code de la santé publique, la réalisation de mesures de radionucléides dans les sédiments peut être menée par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) ou par des laboratoires agréés sur le territoire national, dont les modalités d'agrément sont définies par l'article R.1333-11-1 du Code de la santé publique et par la décision n°2008-DC-0099 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 29 avril 2008. La liste des laboratoires agréés est disponible sur le site internet de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (www.asn.fr).

A noter que l'agrément d'un laboratoire est défini par un code numérique à deux composantes :

- le type de matrice (code à 1 chiffre de 1 à 6) : les sédiments correspondent au type 2,
- la catégorie de mesures radioactives (code à 2 chiffres de 01 à 17).

³² CEREMA, 2015



6.1.4 Cas particulier des analyses de phytoplancton toxique

La recherche de la présence de kystes de phytoplancton toxique dans les sédiments est aujourd'hui quasi-exclusivement réalisée au sein de laboratoires universitaires spécialisés. Il n'existe à l'heure actuelle pas d'accréditation pour ces méthodes.

6.1.5 Cas particulier des analyses d'écotoxicité

Les analyses d'écotoxicité relèvent de méthodes normalisées et sont mises en œuvre par des laboratoires privés ainsi que par des organismes de recherche publics. Ces méthodes peuvent faire l'objet d'accréditation.

6.1.6 Synthèse des critères d'évaluation des capacités des laboratoires pour la réalisation d'analyses sur des sédiments marins ou estuariens

La capacité technique des laboratoires à réaliser des analyses physico-chimiques ou bactériologique sur des sédiments marins ou estuariens en prévision d'une opération de dragage, pourra être appréciée au regard de :

- leur pratique de la matrice sédiment salé,
- leur accréditation pour au moins un paramètre physico-chimique ou bactériologique sur la matrice sédiment (accréditation COFRAC) ;
- leur participation à des essais techniques inter-laboratoires (EIL) ou exercices d'intercalibration de rang international pour au moins un paramètre physico-chimique sur la matrice sédiment salé ;
- les limites de quantification pratiquées pour les différents paramètres à analyser et les incertitudes associées.

Concernant l'analyse des radionucléides, la capacité des laboratoires est évaluée au regard de leur détention d'un agrément ministériel pour les analyses concernées.

Concernant l'analyse de kystes de phytoplancton toxiques, la capacité du laboratoire est évaluée sur la méthode employée (cf. ci-après), sa pratique de ce type d'analyse dans le passé et de la publication scientifique de résultats associés.

Concernant enfin l'analyse du potentiel écotoxique, la capacité du laboratoire est évaluée au regard de sa pratique de la matrice sédiment salé ainsi que de son accréditation pour au moins un test pertinent d'écotoxicité.

6.2 Choix des méthodes d'analyses

Certains paramètres peuvent être analysés selon différentes méthodes. L'analyse du chrome peut par exemple se faire par spectroscopie d'émission optique avec plasma induit par haute fréquence (norme NF EN ISO 11885), par spectrométrie d'absorption atomique en four graphite (norme NF EN ISO 15586), etc. Un autre exemple peut être donné pour l'écotoxicité, qui peut être appréciée au travers de tests faits sur des embryons de bivalves, sur l'inhibition de la luminescence de bactéries marines, etc.

Ces méthodes diffèrent ainsi par la technologie utilisée pour les analyses, elle-même influençant le degré de précision de la mesure, les coûts et les délais.



Lorsque plusieurs méthodes sont disponibles, un Maître d'ouvrage peut décider d'être plus ou moins prescriptif dans le fait d'appliquer une méthode plutôt qu'une autre pour l'analyse des sédiments qu'il souhaite immerger. Dans les faits, et à quelques exceptions près, un Maître d'ouvrage est généralement assez peu prescriptif face à la multitude et à la complexité des méthodes d'analyse existantes.

La sélection des méthodes résulte d'avantage d'un ensemble de facteurs inhérents à la consultation des laboratoires, dont les principaux sont le degré de précision souhaité (traduit au travers des LQ pour les substances chimiques) et le budget alloué aux analyses. Afin de garantir la réalisation d'analyses fiables et exploitables, il est préconisé aux Maîtres d'ouvrages de fixer dans leur cahier des charges des objectifs de résultats. Les laboratoires auront de ce fait à proposer et à s'engager sur des méthodes permettant d'atteindre ces objectifs.

Dans ce contexte, ce sous-chapitre a pour objectif de préciser certains concepts associés aux méthodes d'analyse pour accompagner la réflexion des Maîtres d'ouvrage sur ce sujet.

6.2.1 Normes et méthodes internes

Dans sa définition la plus large, une norme est un référentiel commun, national ou international, défini par consensus et documenté, dont l'objectif est d'harmoniser une activité, un processus ou une méthodologie au sein d'un secteur.

Parmi les différents types de normes existantes, les normes d'analyse et d'essais référencent les méthodes et moyens pour la réalisation d'un essai sur un produit (par exemple le dosage de certaines substances dans les sédiments). Leur objectif est de garantir certaines caractéristiques telles que la qualité, la fiabilité, l'efficacité, etc. Elles sont régulièrement mises à jour pour suivre les évolutions du marché et des technologies.

Ainsi à la grande majorité des paramètres pouvant être caractérisés dans les sédiments de dragage, correspond une ou plusieurs normes d'analyse, se référant à la ou les méthodes normalisées pour l'analyse de ces paramètres.

Les normes existantes pour l'analyse des paramètres physico-chimiques sur la matrice sédiment sont présentées dans l'[annexe 7](#)³³.

Ceci étant exposé, différents cas de figure peuvent nécessiter le développement de méthodes particulières, non normalisées. Ces méthodes, développées par les laboratoires pour répondre à des besoins d'analyse spécifiques sont nommées **méthodes internes**.

Les trois principales raisons pouvant nécessiter le développement de méthodes internes sont :

- l'absence de méthode normalisée pour un paramètre donné : c'est par exemple le cas pour les analyses de kystes de phytoplancton toxique dans les sédiments ;
- la recherche d'un degré de précision qui ne peut être atteint par l'application de méthodes normalisées ;
- la recherche par les laboratoires d'une amélioration des rendements d'analyse.

³³ Cahier des charges pour la mise en œuvre du programme REPOM dès 2015, CEREMA, 2015.

A noter que les normes peuvent être élaborées par différents organismes. La mention précédent un numéro de norme correspond généralement au nom de l'organisme à l'origine de l'édition de la norme en question, par exemple AFNOR / ISO / OSPAR / EN. Une norme homologuée française porte le label NF. Certaines normes en instance d'homologation sont dites expérimentales et portent l'inscription XP.



L'accréditation COFRAC de ces méthodes non normalisées constitue une reconnaissance de leur qualité méthodologique auquel le Maître d'ouvrage peut se fier pour apprécier leur pertinence vis-à-vis de ses besoins d'analyse. Ainsi, si la définition du niveau d'accréditation relève de la stratégie de chaque Maître d'ouvrage, le présent document préconise néanmoins de s'assurer que le laboratoire soit accrédité *a minima* pour un couple paramètre / sédiment, si tant est que le mécanisme d'accréditation existe pour les paramètres considérés (cf. ci-après).

6.2.2 Méthodes d'analyse de paramètres physiques et chimiques

Les paramètres physiques et les substances chimiques à doser dans les sédiments font quasiment toutes l'objet de méthodes normalisées, citées en [annexe 7](#). Pour les raisons citées précédemment, ces paramètres peuvent également faire l'objet de méthodes internes.

Le choix de privilégier une méthode d'analyse plutôt qu'une autre se pose face à des problématiques propres à certaines substances. L'objectif n'est pas ici de développer une analyse exhaustive des avantages et des inconvénients des différentes méthodes existantes par rapport à l'ensemble des paramètres physico-chimiques à considérer en vue d'une opération de dragage. Néanmoins, les exemples suivants permettent d'illustrer les enjeux méthodologiques associés à ces analyses.

Exemple 11

Les éléments traces métalliques peuvent se présenter sous différentes formes dans les sédiments, dont toutes ne présentent pas la même toxicité. Par exemple, le chrome peut exister sous forme de chrome trivalent (Cr(III)) et de chrome hexavalent (Cr(VI)). Si le Cr(III) est essentiel pour de nombreux organismes vivants, le Cr(VI) est classé comme composé carcinogène. Seules des analyses de spéciation peuvent donner une information au niveau de la toxicité liée au chrome dans les sédiments.

Exemple 12

Certains HAP dits légers, tels que le naphthalène, présentent une certaine volatilité aux températures d'analyses habituellement employées en chromatographie. Cette volatilité, lorsqu'elle n'est pas maîtrisée sur le plan méthodologique, est susceptible de conduire à sous-estimer la concentration finale pour ces HAP dans le sédiment. Des différences semblent ainsi exister entre les méthodes d'analyse par chromatographie en phase aqueuse et en phase gazeuse, ainsi que vis-à-vis des précautions prises pour le réchauffement de l'échantillon en phase d'analyse.

6.2.3 Méthodes d'analyse de microorganismes

6.2.3.1 Germes de contamination fécale

L'analyse de germes de contamination fécale dans les sédiments fait l'objet de méthodes normalisées. Les références de ces normes sont présentées dans l'[annexe 7](#).

La durée d'obtention des résultats est généralement de l'ordre de quelques jours suite à réception en laboratoire.

6.2.3.2 Kystes de phytoplancton toxique

Les méthodes d'analyse, essentiellement développées à des fins de recherche, ne sont pas normées et ne font pas l'objet d'accréditation ou d'agrément. A cet égard, la capacité des laboratoires ayant développé cette compétence peut être appréciée par les publications scientifiques dans des revues internationales à comité de lecture.

Pour information, les analyses reposent aujourd'hui essentiellement sur :

- la reconnaissance taxonomique et la quantification des kystes en microscopie optique,
- l'évaluation de la viabilité des kystes par mise en culture et reconnaissance des cellules végétatives,
- l'identification par biologie moléculaire (dans une moindre mesure).

Les délais associés à ces méthodes et à la rareté de cette expertise en générale doit être appréhendée par le maître d'ouvrage au regard de son planning de travaux.

6.2.4 Méthodes d'analyse de radionucléides

Les méthodes d'analyse des radionucléides dans les sédiments sont associées aux agréments détenus par les laboratoires.

Il convient ici de noter que la spécificité de cette expertise engendre des délais d'analyse supérieurs à ceux nécessaires à l'analyse de paramètres physico-chimiques ou bactériologique plus habituels. De plus, le temps nécessaire à l'analyse de l'activité de certains radionucléides peut être significatif (plusieurs mois pour le tritium par exemple). Ces délais doivent être correctement appréhendés par le Maître d'ouvrage lors du calage du planning des analyses vis-à-vis du planning global du projet.

6.2.5 Méthodes de tests d'écotoxicité

6.2.5.1 Tests d'écotoxicité sur organismes marins

Les principaux tests reconnus (OSPAR, IFREMER) et mis en œuvre dans le cadre de la caractérisation des sédiments de dragage et destinés à être immergés, sont les suivants :

- Test de toxicité sur le développement embryonnaire d'œufs fécondés de bivalves (larves "D" de *Crassostrea gigas* ou *Mytilus edulis*) ;
- Test de toxicité sur l'Amphipode *Corophium sp.* ;
- Test de toxicité sur Copépode marin (*Acartia tonsa* ou *Tigriopus brevicornis*) ;
- Test d'inhibition de la luminescence (Microtox ou *Vibrio fischeri*).

Le contenu de ces quatre tests est fourni pour information en [annexe 8](#).

Il existe d'autres bio-essais sur poissons (*Scophthalmus maximus* ou *Cyprinodon variegatus*), oursins (*Sphaerechinus granularis* et *Paracentrotus lividus*) et algues (*Skeletonema costatum*) mais qui sont généralement réalisés dans le cadre d'études scientifiques plus spécifiques.

Il n'existe pas de méthode d'analyse pour laquelle un consensus global de la communauté scientifique existe. Ces analyses doivent être adaptées au contexte local, régional et historique. Ces tests peuvent être réalisés sur le sédiment total, pour évaluer la toxicité des substances chimiques présentes directement dans le sédiment, ou sur l'eau interstitielle et les extraits aqueux pour connaître les effets



toxiques de la fraction de contaminants solubilisée. Il convient ainsi de noter certaines limites non liées à ces tests mais à leur mise en œuvre et à leur utilisation. Dans la mesure où seules les eaux sont les vecteurs des contaminants, le choix du test et principalement de la solution testée, eau interstitielle, eau d'imprégnation, eau surnageante, ... est déterminant pour la représentativité des travaux qui seront mis en application. Ainsi pour des travaux de dragage qui seraient préférentiellement effectués par aspiration (dragage hydraulique), un test réalisé à partir des lixiviats paraît être le plus pertinent. Pour des dragages réalisés à l'aide d'une benne, un test à partir des eaux surnageantes paraît suffisant pour connaître les éventuels impacts sur les biocénoses.

Par ailleurs, suivant les normes analytiques applicables, les paramètres du milieu (par exemple le pH et la température), sont fixés et il peut paraître légitime d'adapter les interprétations suivant les conditions du milieu investigué. Ceci est plus particulièrement pertinent dans le cas d'un dragage côtier dans des zones soumises à des pressions industrielles ou à des apports fluviaux.

Enfin, il doit être rappelé que dans des contextes où les bruits de fonds géochimiques sont « hors normes », l'application de tests normalisés reposant sur des espèces non adaptées n'est pas nécessairement pertinente. Dans ce type de configuration, on cherchera à privilégier des tests reposant sur des espèces locales, habituellement exposées au bruit de fond. Bien que non normalisés, ces tests sont de nature à fournir des résultats plus exploitables dans le cadre de l'évaluation de l'impact d'une opération sur son environnement spécifique.

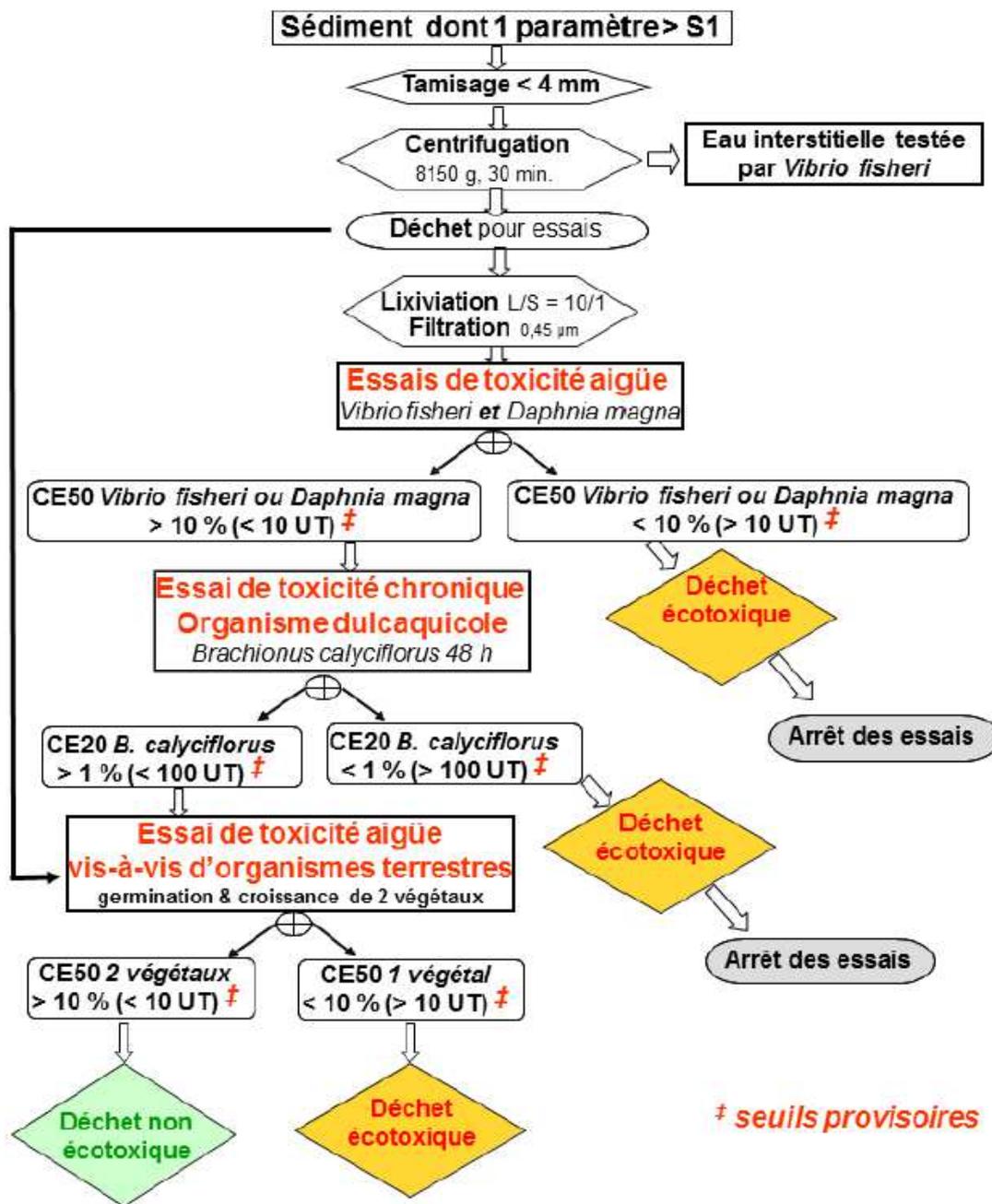
6.2.5.2 Tests d'écotoxicité sur organismes continentaux : cas du test HP14

Pour rappel, le caractère écotoxique et donc dangereux d'un sédiment vis-à-vis d'organismes continentaux est défini par le protocole dit « protocole HP14 » issu d'études expérimentales (cf. paragraphe 5.3.7.3.).

Les résultats de cette étude ont permis de proposer un protocole allégé et ont fourni les éléments de discussion nécessaires aux opérateurs et autres parties prenantes pour discuter des suites à donner, notamment la possibilité et les implications d'une réglementation qui s'appuierait sur ce protocole. La gestion à terre étant hors champ d'application du présent document, le détail du protocole H14 ne sera pas développé ici. A titre informatif, le protocole d'analyse est donné sur la figure 10.



Figure 14 Protocole établi par le groupe de travail « dangerosité des sédiments » du MEEDDM pour la mesure de l'écotoxicité (paramètre HP 14) des sédiments marins et continentaux et destinés à une gestion à terre (octobre 2009)



CE 50 ou CE 20 = concentration de l'éluat ou de la matrice solide entraînant 50 % ou 20 % de l'effet toxique maximal

Y % = taux de dilution de l'éluat ou de la matrice solide

UT = unité toxique

6.3 Présentation des résultats

Afin de garantir la lisibilité, la traçabilité et l'interprétabilité des résultats d'analyse, il est nécessaire de les accompagner d'un certain nombre d'informations fournies par le prestataire en charge des prélèvements et analyses,

Prélèvements

- La date et l'heure d'échantillonnage arrondie à la dizaine de minutes ainsi que la référence donnée à l'échantillon lors de la campagne de prélèvement,
- La date et l'heure de réception des échantillons au laboratoire ainsi que la référence de l'échantillon au laboratoire,
- La température de l'enceinte et l'état de conditionnement à réception au laboratoire,

Analyses

- La date et l'heure de préparation de l'échantillon moyen, le cas échéant et le code d'identification de cet échantillon,
- La date et heure de mise en route du processus d'analyse (extraction, minéralisation),
- La limite de détection (LD) et la limite de quantification (LQ) (exprimée dans la même unité que le résultat),
- Le résultat de l'analyse,
- L'incertitude analytique sur le résultat,
- Le code remarque³⁴,
- L'unité du résultat et la forme du composé analysé,
- La fraction analysée,
- Le support,
- Les réserves émises sur l'analyse,
- La méthode d'analyse et la norme associée,
- Le statut vis-à-vis de l'accréditation du couple paramètre-méthode ainsi que le numéro de dossier d'accréditation,
- Les commentaires d'analyse (indications sur les difficultés analytiques rencontrées, interférences, etc.),
- Le laboratoire ayant réalisé l'analyse, si l'analyse a été confiée à un sous-traitant.

En cas de résultats douteux, par exemple des valeurs anormalement élevées, la maîtrise d'ouvrage questionnera le laboratoire pour chercher à comprendre si les valeurs fournies, qu'elle considère comme douteuses, sont ou non confirmées par le laboratoire. Celui-ci recherchera les causes et engagera les actions appropriées : vérification de la procédure d'analyse pour l'échantillon suspect, nouvelle analyse.

³⁴ Le code remarque de l'analyse permet d'apporter des précisions sur le résultat en indiquant si le résultat obtenu est inférieur à un seuil, ou qu'il y a présence de traces...



Les résultats doivent être rendus sous forme électronique et doivent être exprimées, pour les analyses concernées, sous le format EDILABO³⁵ défini par le Secrétariat d'Administration Nationale des Données Relatives à l'Eau (SANDRE).

6.4 Conservation des échantillons

Une fois les analyses réalisées, il est nécessaire de conserver les échantillons pendant une durée égale à la durée prévisionnelle séparant les analyses de la fin de l'instruction des dossiers réglementaires. Cette conservation doit permettre d'effectuer de nouvelles analyses sur les échantillons, notamment dans les configurations suivantes :

- **Démarche de précision de la localisation des secteurs contaminés**

Les analyses sont généralement menées, en première approche, sur des échantillons obtenus à partir d'un mélange d'échantillons élémentaires prélevés à des points plus ou moins distants les uns des autres. Lorsque les premières analyses font ressortir une contamination suffisamment significative pour envisager un mode de gestion particulier et potentiellement plus coûteux, il peut être pertinent de réaliser les analyses sur les échantillons élémentaires afin d'évaluer s'il est possible de circonscrire plus précisément le périmètre faisant l'objet d'une contamination plus importante. Il en sera de même si les résultats font ressortir des anomalies par rapport aux données existantes et au contexte de la zone échantillonnée.

- **Expertise de nouvelles molécules ou réalisation de tests d'écotoxicité**

Compte-tenu des résultats d'analyse et des études d'évaluation environnementale, il pourra s'avérer nécessaire d'analyser des contaminants non analysés en première approche, ou de réaliser des tests visant à caractériser l'écotoxicité des matériaux.

- **Démarche de vérification des résultats en cours d'instruction**

Lors de la procédure d'instruction des dossiers réglementaires, la réalisation de contre-analyses peut être demandée dans le cas où de nouveaux éléments portés à la connaissance des parties prenantes du projet amèneraient à remettre en cause les résultats obtenus ou à rechercher d'autres contaminants. Il est ainsi préconisé de conserver les échantillons pendant toute la durée d'instruction afin de pouvoir mener ces analyses si nécessaire

La conservation des échantillons par le laboratoire (récipient, température, etc.) devra être assurée de façon à garantir que les échantillons ne subiront pas de modifications susceptibles de remettre en cause la fiabilité et la représentativité des analyses.

³⁵ EDILABO est un outil déployant un standard d'échange de données unique pour la transmission informatisée des données entre laboratoires d'analyses et les donneurs d'ordre. Le Sandre met à disposition une macro Excel permettant à un laboratoire de lire un fichier EDILABO de demande de prestations, saisir les résultats d'analyses associés à une demande de prestations, saisir les résultats d'analyses sans demande préalable et produire un fichier XML * EDILABO de résultats d'analyses. Concrètement, les labos transmettent des fichiers .csv avec une partie des paramètres listés dans le paragraphe 6.3. et les bulletins papier avec une version simplifiée de ces données.



La norme NF EN ISO 5667-15 fournit des lignes directrices relatives aux modes opératoires de conservation, de manipulation et de stockage des échantillons de sédiments en eau salée jusqu'à ce que leur examen chimique, physique, radiochimique et/ou biologique puisse être entrepris en laboratoire. Il conviendra de se référer à cette norme pour obtenir les informations relatives à la conservation des échantillons selon les paramètres à analyser.

6.5 Rédaction du cahier des charges

L'ensemble des prescriptions décrites précédemment seront intégrées dans le cahier des charges de la mission de caractérisation des sédiments confiée à un ou plusieurs laboratoires.

Le cahier des charges comportera ainsi *a minima* les points suivants :

- la demande de fourniture des pièces permettant au laboratoire de justifier sa capacité à analyser les substances considérées :
 - Limites de quantification et incertitudes,
 - Méthodes d'analyses,
 - Accréditations souhaitées,
 - Justification des compétences du personnel et de la qualification des équipements,
 - Justification de la pratique de la matrice sédiment « salé »,
 - Justification de la participation à des essais techniques inter-laboratoires (EIL) ou exercices d'intercalibration de rang international sur la matrice sédiment « salé »,
 - Plan d'assurance qualité.
- la liste des substances à analyser et le nombre d'échantillons associés,
- les délais de livraisons de l'analyse,
- le format de transmission des résultats (format électronique EDILABO + format papier),
- les procédures de communication à adopter compte-tenu des résultats obtenus (par exemple : alerte du maître d'ouvrage par le laboratoire en cas de résultat anormal) notamment en vue de gagner du temps sur les analyses de vérification qu'il pourrait s'avérer nécessaire de mener,
- la durée de conservation des échantillons,
- les spécifications particulières (par exemple, données fournies intégrables sous SIG).

Dans les critères de jugement des offres, il convient d'apprécier que la valeur à donner au prix n'entraîne pas un risque significatif sur la qualité des analyses. Le maître d'ouvrage devra ainsi choisir des critères de jugement qui ne conduisent pas à sélectionner un laboratoire au détriment de la compétence nécessaire, de la qualité et de l'exploitabilité des résultats d'analyse.

A noter qu'il pourra également être utile de prévoir dans le cahier des charges, la possibilité d'analyser d'autres paramètres que ceux initialement prévus afin d'anticiper d'éventuels compléments d'analyse (voir 6.3). Dans le cas d'une démarche de ce type, le maître d'ouvrage pourra demander les éléments détaillés correspondant à ces substances complémentaires.



7. Etape 6 : Interprétation et gestion des résultats

7.1 Présentation des résultats et traçabilité

7.1.1 Présentation et cartographie des résultats

Les résultats analytiques sont rendus en routine par le laboratoire sous la forme de bordereaux standardisés. Chaque bordereau présente les résultats analytiques d'un seul échantillon de sédiment correspondant généralement :

- à une station de prélèvement, dans le cas d'un échantillon prélevé en surface,
- pour une station donnée, à la profondeur de prélèvement dans le cas d'une carotte (échantillons pour chaque horizon homogène).

Les résultats doivent également être rendus sous forme numérique au format SANDRE EDILABO.

Le tableau d'analyses

Afin d'avoir une vue globale, la première tâche consiste à regrouper toutes ses analyses sous forme d'un seul tableau croisant :

- en ligne, les échantillons,
- en colonne, les différentes substances analysées en regroupant : les caractéristiques physico-chimiques des sédiments, les éléments-traces, les composés-traces, les organo-stanniques, les HAP, les autres substances analysées.

La référence explicite aux seuils N1 et N2 doit apparaître sous la forme de la valeur réglementaire des seuils et sous la forme d'un code couleur pour visualiser directement les dépassements par échantillon et par substance.

La cartographie (sous SIG)

Il est recommandé de cartographier les valeurs trouvées sur un extrait de carte en distinguant éventuellement les prélèvements de surface et les carottages. Pour une substance chimique donnée, la cartographie des isoconcentrations est souhaitable lorsque l'on dispose d'un nombre suffisant d'analyses.

Les résultats d'analyses peuvent être intégrés dans un dossier d'incidences sur l'eau ou dans l'étude d'impact. Les résultats d'analyses seront interprétés par la maîtrise d'ouvrage ou par le prestataire qu'elle aura désigné pour rédiger les dossiers réglementaires.



Tableaux, cartes et interprétation des résultats aideront :

- le maître d'ouvrage à bâtir la stratégie environnementale et technique de son opération de dragage et à anticiper les prochaines opérations dans le cadre d'un programme de travaux (connaissance historique de l'évolution des sédiments),
- le service instructeur à définir la procédure réglementaire, à prendre connaissance des enjeux liés à la qualité des sédiments et à se prononcer sur l'incidence des travaux sur les milieux aquatiques (via le dossier d'incidences sur l'eau ou l'étude d'impact),
- l'autorité compétente pour prendre la décision d'autorisation des travaux. Ceci rentre dans le processus ultérieur d'études environnementales.

Ces éléments ne sont pas produits par le laboratoire mais quasi-systématiquement par le bureau d'étude auquel le maître d'ouvrage aura confié une mission d'assistance plus ou moins étendue (caractérisation des matériaux et cadrage réglementaire de l'opération, caractérisation des matériaux et réalisation des dossiers réglementaires de l'opération, etc.).

7.1.2 Traçabilité des résultats

Le maître d'ouvrage communiquera systématiquement le résultat des analyses au service instructeur (Police de l'eau / DDTM).

Les différentes analyses permettront de constituer un historique de la qualité géochimique des sédiments à l'échelle d'une zone particulière (port, estuaire) ou d'une entité naturelle (baie, rade). Elles doivent permettre d'apprécier la stabilité, la dégradation ou l'amélioration du secteur analysé et de sélectionner les substances à analyser en fonction des particularités locales (apports avérés du bassin versant). Elles peuvent enfin compléter utilement les analyses régulières du REPOM.

7.1.3 Diffusion des résultats d'analyse

Compte tenu des tensions que suscitent généralement les opérations de dragage et d'immersion de matériaux dragués, il est recommandé que le maître d'ouvrage engage très tôt le dialogue avec l'ensemble des parties prenantes pour leur expliquer les objectifs de l'opération envisagée et démontrer sa capacité à prendre en compte les propositions qu'ils expriment.

C'est en particulier pendant l'élaboration de l'étude d'impact (ou du dossier d'incidences sur l'eau) que le maître d'ouvrage peut présenter les résultats des analyses géochimiques et expliquer les conséquences qui en résultent sur les choix des modes d'extraction et des filières envisagées.

→ **Pour en savoir plus** : GEODE / MEEDE. *Rédaction des études d'impact d'opérations de dragage et d'immersion en milieu estuarien et marin. Guide méthodologique, chapitre consacré à la gouvernance.*



7.2 Interprétation des résultats

7.2.1 Interprétation des résultats d'analyses physiques

La caractérisation physique des sédiments permet d'apprécier la charge en contaminants (capacités d'adsorption dépendantes des surfaces spécifiques) et de prévoir le mode de dragage qui sera le plus approprié.

Les techniques de normalisation mettent à profit les relations fortes existantes entre la richesse en particules fines du sédiment et sa concentration en contaminants. Cette affinité est attribuée principalement à l'argile, car les feuillets dont elle est constituée, contiennent des sites capables de fixer les métaux dissous dans l'eau. Plus la granulométrie est fine, plus la surface spécifique est grande, entraînant, pour une concentration en contaminant donnée dans l'eau, une concentration dans le sédiment plus forte. On peut utiliser comme variable indicatrice de la capacité d'adsorption du sédiment la proportion d'argiles, mais sa détermination est délicate. L'aluminium, présent en fortes proportions dans les argiles, est un bon indicateur de ces minéraux.

On considère qu'un sédiment riche en aluminium adsorbera plus les contaminants qu'un sédiment pauvre en cet élément. Les teneurs sont très variables en fonction de la nature du fond et des apports par le bassin versant.

A noter que la capacité en termes de charge est liée à ces surfaces mais que la présence de matières humiques contribue aussi à augmenter la fixation et l'adsorption des contaminants dans le matériau.

7.2.2 Interprétation des résultats d'analyses chimiques

7.2.2.1 Rappels généraux sur les seuils N1 et N2

Pour mémoire, ces seuils constituent seulement des **points de repère** permettant d'abord de définir le profil du sédiment à draguer et son incidence potentiel sur l'environnement. Ainsi la circulaire de 2000 rappelle que :

- **Au-dessous du niveau N1**, l'impact potentiel est en principe jugé d'emblée neutre ou négligeable, les teneurs étant « normales » ou comparables au bruit de fond environnemental.
- **Entre le niveau N1 et le niveau N2**, une investigation complémentaire peut s'avérer nécessaire en fonction du projet considéré et du degré de dépassement du niveau N1. Ainsi une mesure, dépassant légèrement le niveau N1 sur seulement un ou quelques échantillons analysés, ne nécessite pas de complément sauf raison particulière (par exemple toxicité de l'élément considéré : cadmium, mercure ...).

De façon générale, l'investigation complémentaire doit être proportionnée à l'importance de l'opération envisagée. Elle peut porter, pour les substances concernées, sur des mesures complémentaires et/ou des estimations de sensibilité du milieu.

- **Au-delà du niveau N2**, une investigation complémentaire est généralement nécessaire car des indices notables laissent présager un impact potentiel négatif de l'opération. Il faut alors mener une étude spécifique portant sur la sensibilité du milieu aux substances concernées, avec au moins un test d'écotoxicité globale du sédiment, une évaluation de l'impact prévisible sur le milieu et, le cas échéant, affiner le maillage des prélèvements sur la zone concernée (afin, par exemple, de délimiter le secteur plus particulièrement concerné).



En fonction des résultats, le maître d'ouvrage pourra étudier des solutions alternatives pour réaliser le dragage, ou des phasages de réalisation (ex : réduire le dragage en période de reproduction ou d'alevinage de certaines espèces rares très sensibles).

On notera que la circulaire de 2000 n'assujettit pas l'immersion en mer des sédiments à leur situation vis-à-vis des seuils N1 et N2. Ainsi le dépassement du niveau N2 ne signifie pas une interdiction de l'immersion.

7.2.2.2 Eléments d'interprétation

L'interprétation stricte de la réglementation fait qu'il suffit théoriquement d'un seul élément pour que l'ensemble des sédiments à draguer soit associé à un niveau donné.

L'article 2 de l'arrêté du 9 août 2006 apporte une précision : « Lors des analyses, afin d'évaluer la qualité des rejets et sédiments en fonction des niveaux de référence [*N1 et N2 pour les sédiments*], la teneur à prendre en compte est la teneur maximale mesurée. Toutefois, il peut être toléré :

- 1 dépassement pour 6 échantillons analysés,
- 2 dépassements pour 15 échantillons analysés,
- 3 dépassements pour 30 échantillons analysés,
- 1 dépassement par tranche de 10 échantillons supplémentaires analysés.

Sous réserve que les teneurs mesurées sur les échantillons en dépassement n'atteignent pas 1,5 fois les niveaux de référence considérés ».

Exemple 13

Suite à une analyse d'éléments traces métalliques sur 10 échantillons de sédiments, les résultats sont les suivants :

- pour le cuivre, deux échantillons sur 10 dépassent le seuil N1, leur teneur étant inférieure à $N1 \times 1,5$.
- les valeurs obtenues pour l'ensemble des autres paramètres sont inférieures à N1 pour l'ensemble des échantillons.

Dans ce contexte, le sédiment doit être considéré comme étant situé entre N1 et N2.

Exemple 14

Suite à une analyse d'éléments traces métalliques sur 6 échantillons de sédiments, un échantillon présente une teneur en mercure supérieure à $N2 \times 1,5$. Les valeurs obtenues pour l'ensemble des autres paramètres sont inférieurs à N1 pour l'ensemble des échantillons.

Dans ce contexte, le sédiment doit être considéré comme supérieur à N2.

Plus qu'un simple dépassement réglementaire, il convient de prendre en considération, dans l'interprétation des résultats, d'autres facteurs liés au contexte environnemental de la zone, à la nature des contaminants en jeu, au volume des sédiments dragués et à leur devenir.



Exemple 15

Suite à une analyse d'éléments traces métalliques sur des carottes, un échantillon présente des concentrations comprises entre N1 et N2 pour le cadmium et le mercure. Les éléments contaminants sont localisés dans la couche superficielle des sédiments. Les teneurs mesurées sont plus proches de N1 que de N2, mais il s'agit de deux éléments à forte toxicité.

Dans ce contexte, il est recommandé de mener quelques analyses supplémentaires autour de cette zone afin de circonscrire un éventuel foyer de pollution. La nature de la contamination (cadmium + mercure) doit inciter le maître d'ouvrage à considérer les alternatives de traitement à terre pour ces vases contaminées dans cette zone et à comparer les avantages et inconvénients de ce type d'alternative avec une immersion en mer.

Exemple 16

En vue d'une opération de dragage d'un avant-port et d'un chenal de navigation, les analyses de sédiments en cinq stations de prélèvement mettent en évidence des concentrations :

- inférieures au seuil réglementaire N1 pour les composés traces (métaux), sauf pour le cuivre compris entre les seuils N1 et N2,
- comprises entre N1 et N2 pour les HAP aux stations 1 et 2,
- inférieures au seuil N1 pour les PCB à toutes les stations, et
- supérieures à N2 pour le TBT à la station 2.

Dans ce contexte, l'interprétation réglementaire stricte fait que le dépassement du seuil N2, pour un seul élément, classe l'ensemble du sédiment comme dépassant le seuil N2. Néanmoins :

- Les stations 1 et 2 étant situées à proximité d'un quai accueillant des navires de commerce, il sera judicieux de chercher à délimiter la zone polluée par le TBT et les HAP en analysant plusieurs échantillons par exemple, répartis le long d'un transect à partir du quai. Ainsi, si les analyses complémentaires le permettent, le maître d'ouvrage pourra circonscrire la zone contaminée et considérer une filière de gestion spécifique pour ces matériaux, le cas échéant (traitement à terre).
- Pour le reste des sédiments, le dépassement du niveau N1 vise le cuivre dont la toxicité est modérée par rapport à d'autres éléments (mercure, cadmium). La possibilité d'une immersion peut donc être envisagée.

7.2.2.3 Prise en compte du bruit de fond

Les métaux sont des éléments naturellement présents dans l'environnement et dont la concentration dans les sédiments hors contamination d'origine anthropique est donc non-nulle.

On appelle « bruit de fond » géologique (ou géochimique), les teneurs naturellement contenues dans les sédiments du fait de leur composition chimique naturelle³⁶. Ces teneurs peuvent varier d'une région à une autre en fonction de la nature géologique du bassin versant ou de la morphogénèse (volcanisme, par exemple). Une comparaison des teneurs en sédiments mesurées au « bruit de fond » est toujours utile pour apprécier les résultats et le poids du facteur anthropique dans la contamination apparente des sédiments.

³⁶ Chiffolleau J.-F. Bruits de fond géochimiques des métaux en milieu marin. IFREMER – centre de Nantes. Département de Biogéochimie et d'Ecotoxicologie. *Premières journées « Micropolluants Aquatiques » ONEMA, 10-12 mars 2010.*



Il est ainsi conseillé de recueillir les valeurs de bruit de fond géologique régional afin d'enrichir l'interprétation des résultats.

En Seine, l'Agence de l'Eau Seine Normandie et le CETE Normandie Centre ont par exemple publié les concentrations en métaux de sédiments dits anciens et les valeurs naturelles moyennes.

Tableau 9 concentrations en métaux de sédiments dits anciens et valeurs naturelles moyennes sur la côte de la Manche

Métaux (mg/kg)	Sédiments "anciens"	Valeurs naturelles moyennes (AESN)
Arsenic	6-10	-
Cadmium	0,2-0,3	0,75
Chrome	17-70	25
Cuivre	5-14	12,5
Mercure	0,02-0,25	0,1
Nickel	9-25	12,5
Plomb	2,5-35	30
Zinc	26-75	100

Dans le cadre de ses travaux d'observation de qualité du milieu marin à l'échelle nationale, l'Ifremer a également publié les niveaux de référence des concentrations en métaux dans des sédiments fins de différentes origines.

Tableau 10 Teneurs de référence des concentrations en métaux dans des sédiments fins de différentes origines (Ifremer)

Métaux (µg/g)					Régions	Sources
Cu	Zn	Cd	Pb	Hg		
17	84	-	22	-	Humber	Middelton et Grant, 1990
22	103	-	37	0,067	Wadden sea	Kramer et al., 1991
17	110	0,08	26	0,04	Côtes norvégiennes	Données NSTF/JMG
15	49	0,2	23	-	Rade de Venise	Donazzolo et al., 1984
20-30	60-85	-	-	-	Mer Ligure	Cauwert et Monaco, 1982
15 +- 5	50 +- 5	0,15 +- 0,15	25 +- 5	-	Bruit de fond méditerranéen	Whitehead et al., 1984
25-36	70-95	0,06-0,08	17-21	-	Maroc (Baie d'Al Hoceima)	Ifremer / données non publiées

Ces deux exemples illustrent bien la variabilité des concentrations naturelles de métaux dans le milieu marin et ce dans des ordres de grandeur comparables à ceux des niveaux N1 et N2 pour certains contaminants.

En l'absence de données historiques existantes ou d'études spécifiques menées préalablement sur le territoire, la détermination du bruit de fond géochimique se révèle être une étude à part entière, souvent complexe. Il s'agit en effet de caractériser des zones au sein du même territoire, mais non significativement impactées par l'activité humaine.



Exemple 17

Des prélèvements par carottage effectués en Guadeloupe montrent, dans les horizons compris entre – 1,5 m et – 3,00 m, une contamination seulement au cuivre et à l'arsenic (entre N1 et N2). Cette spécificité est à mettre en relation avec la nature volcanique de la Guadeloupe car l'arsenic est fortement présent dans le fluide géothermal (jusqu'à 624 mg/L). La zone sur laquelle ont été réalisés les carottages est par ailleurs reconnue comme une zone de failles pouvant faciliter la contamination par d'anciennes fumerolles. Enfin, aucun contaminant d'origine anthropique tel que les HAP ou les PCB n'a été trouvé dans l'horizon de sédiment analysé, ce qui suggère que l'arsenic n'a pas une origine anthropique.

7.2.3 Eléments d'interprétation relatifs aux nutriments

Les résultats d'analyse de nutriments permettent d'apprécier les risques d'eutrophisation des opérations de dragage et d'immersion, notamment dans des contextes d'opérations menées dans des secteurs confinés.

S'il n'existe pas de référentiels réglementaires pour ces éléments, de nombreux référentiels ont néanmoins pu être établis à l'échelle biogéographique des façades maritimes ou pour des systèmes hydrologiques bien spécifiques (lagunes, estuaires). Il convient de rechercher le ou les référentiels de qualité les plus adaptés à la zone de projet. Ils peuvent être obtenus auprès des Services chargés de la Police des Eaux Littorales.

7.2.4 Eléments d'interprétation relatifs aux germes indicateurs de contamination fécale

Contrairement aux eaux de baignade, il n'existe pas de normes réglementaires pour les sédiments. A titre indicatif, on pourra se référer à la grille du Tableau 11 élaborée par les Services chargés de la Police des Eaux Littorales des départements de la Charente-Maritime et de la Vendée.

Tableau 11 Qualité indicative des sédiments en fonction de leur charge bactérienne (*E. coli*)

Qualité des sédiments Grille CQEL 17 - 85 <i>E. coli</i> / 10g matière brute	bonne	< 10
	médiocre	10 à 100
	mauvaise	100 à 1000
	très mauvaise	> 1000

On rappellera que les résultats de l'analyse bactériologique permettent d'apprécier l'existence d'un risque sanitaire lié à la remobilisation ponctuelle dans la colonne d'eau de la charge bactérienne contenue dans les sédiments. Du fait de leur caractère dynamique et des évolutions significatives de concentration susceptibles d'avoir lieu à l'échelle de temps des études préalables et des opérations, il ne paraît cependant pas pertinent d'utiliser les valeurs de concentrations obtenues pour quantifier ces risques. Concernant le cas spécifique du rechargement des plages, il peut être pertinent d'effectuer une comparaison entre les valeurs obtenues sur les matériaux constitutifs de la plage et les valeurs obtenues dans les matériaux d'engraissement.



7.2.5 Eléments d'interprétation relatifs aux kystes de phytoplancton toxique

Les analyses réalisées permettent de conclure qualitativement quant à la présence ou non de formes enkystées des espèces de phytoplancton toxique considérées pour l'analyse. Le degré de contamination peut par ailleurs être apprécié au regard du nombre d'échantillons présentant une réponse positive à ces tests de présence / absence.

Les résultats alimentent la démarche d'évaluation des risques sanitaires liés au projet et, le cas échéant, la définition de mesures de maîtrise de ces risques.

7.2.6 Eléments d'interprétation relatifs aux radionucléides

En première approche, l'interprétation des résultats permet d'évaluer si les sédiments présentent des anomalies en matière d'activité radioactive en comparaison aux moyennes nationales et régionales. Nous préconisons que cette interprétation soit menée par l'IRSN, au regard de sa vision globale de cette problématique complexe.

Ces résultats doivent ensuite permettre de conclure sur le plan réglementaire quant au fait que les sédiments puissent être considérés ou non comme des déchets radioactifs.

7.2.7 Eléments d'interprétation relatifs aux tests d'écotoxicité

Les tests d'écotoxicité permettent de déterminer la toxicité globale du sédiment, et ce dans des conditions bien particulières : exposition d'une espèce indicatrice donnée à la concentration maximale théorique des différentes substances présentes dans le sédiment.

Si les résultats de ces tests doivent constituer une donnée d'entrée pour évaluer les risques environnementaux liés à l'opération, leur interprétation n'est néanmoins pas aisée.

L'extrapolation de ces résultats aux risques écotoxiques associés à la dispersion (et donc la dilution) des matériaux et à l'exposition d'un cortège d'espèces bien plus large est extrêmement complexe, voire impossible.

L'interprétation de ces résultats doit ainsi être faite avec prudence et en tenant compte des limites méthodologiques et scientifiques qui se posent à leur utilisation pour l'évaluation des risques écotoxiques engendrés par une opération sur l'environnement dans son ensemble.

L'ouvrage intitulé « Bioévaluation de la qualité environnementale des sédiments portuaires et des zones d'immersions » (Ifremer, 2003) constitue une référence technique et scientifique à consulter en appui de toute démarche d'interprétation de résultats de tests d'écotoxicité.

7.2.8 Les résultats peuvent appeler à réaliser d'autres analyses complémentaires

7.2.8.1 Pour une meilleure approche des risques environnementaux et sanitaires

Les analyses « classiques » ne sont pas forcément suffisantes pour évaluer les risques sanitaires, la toxicité pouvant être fortement liée à certaines formes chimiques de substances présentes dans les sédiments. Ainsi le dosage du seul mercure total, ne permet pas d'appréhender la concentration en méthylmercure fortement toxique (voir l'exemple 18) ; idem pour le chrome (dosage de la forme réduite trivalente (III) alors que la forme oxydée hexavalente (VI) est très toxique).

Exemple 19

Dans l'eau et les sédiments, le mercure a une forte aptitude à la transformation en mercure organique par méthylation bactérienne, favorisée par la faible oxygénation et la forte teneur en matières organiques. Les dérivés méthylés (méthyl et diméthylmercure principalement) représentent la forme la plus toxique et la plus écotoxique du mercure. Rappelons que le méthylmercure est ainsi concentré par les organismes aquatiques et que chaque niveau trophique retient plus de méthylmercure qu'il n'en excrète. Le méthylmercure constitue ainsi moins de 10 % du mercure total dans l'eau et en représente plus de 95 % chez les gros poissons en bout de chaîne trophique et généralement consommées par l'homme (bars, thons, espadons,...).

Tableau 12 Exemple de spéciation du mercure dans les sédiments des vasières de l'estuaire de la Seine : concentrations en mercure total et méthylmercure.

	HgT	MMHg	% MMHg
Vasière Nord			
<i>Particulaire</i>	90 – 970	0.10 – 1.10	0.04 – 0.17
($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	600 \pm 190	0.60 \pm 0.20	0.10 \pm 0.03
<i>Dissous</i>	26.0 – 108.0	0.05 – 1.40	0.04 – 3.55
(ng.l^{-1})	44.0 \pm 22.2	0.60 \pm 0.45	1.45 \pm 1.25
Log K_D	3.81 – 4.44	2.59 – 4.08	
(l.kg^{-1})	4.13 \pm 1.04	3.27 \pm 0.48	
Vasière de Oissel			
<i>Particulaire</i>	390 – 2150	0.30 – 1.55	0.02 – 0.28
($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	1060 \pm 600	0.80 \pm 0.40	0.11 \pm 0.09
<i>Dissous</i>	0.5 – 82.0	0.05 – 0.90	0.35 – 12.65
(ng.l^{-1})	25.1 \pm 25.0	0.40 \pm 0.25	3.50 \pm 3.50
Log K_D	3.81 – 6.45	3.03 – 4.03	
(l.kg^{-1})	4.76 \pm 1.40	3.47 \pm 0.92	

L'analyse du méthylmercure pourra être déclenchée dans le cas où :

- les sédiments présentent une teneur significative en mercure total,
- les conditions environnementales sont favorables aux processus de méthylation (conditions anoxiques des sédiments, confinement de la zone concernée),
- la présence à proximité d'usages qui pourraient favoriser la bioaccumulation du méthylmercure en cas de relargage dans les eaux (élevages aquacoles, population fortement consommatrice de poissons).



7.2.8.2 Pour optimiser les opérations de dragage

Les analyses complémentaires peuvent aider à préciser une zone suspectée d'une pollution particulière et mieux la délimiter dans les trois dimensions, en surface et en profondeur. L'objectif final étant d'ajuster la stratégie de dragage : utilisation d'un engin adapté au degré de pollution, définition la plus exacte possible du volume à prélever, ordonnancement du chantier de dragage.

Exemple 20 (suite de l'exemple 5)

Les mesures complémentaires menées sur des horizons de sédiments obtenus par carottes ont permis de préciser les teneurs en HAP et connaître la hauteur de contamination dans le sol marin et donc de tracer les isopaques de sédiments contaminés. En appliquant un logiciel de calcul des cubatures, il est donc possible de définir les volumes contaminés à prélever et qui seront traités à terre et non immergés.

7.3 De l'analyse géochimique des sédiments à l'évaluation environnementale de l'opération de dragage

7.3.1 Démarches générales d'évaluation des risques

Si les valeurs guides sont d'une grande utilité pour obtenir une estimation succincte des niveaux de contamination des matériaux, elles sont par contre insuffisantes à elles seules pour estimer les risques environnementaux liés aux dragages et à l'immersion des sédiments dragués. Ainsi plusieurs pays industrialisés ont adopté des démarches d'évaluation, d'abord du danger, puis plus récemment des risques environnementaux engendrés par les sédiments. Beaucoup de ces démarches procèdent par étapes successives, mobilisant si nécessaire des moyens de plus en plus sophistiqués. On trouvera une revue³⁷ de ces méthodes faite dans le cadre du projet ANR-PRECODD DIESE (Outils de Diagnostic de l'Ecotoxicité des SEdiments).

Ces démarches peuvent être classées en deux catégories :

- celles relevant de l'approche « triade » où l'on applique une batterie prédéterminée d'analyses, dont les résultats déterminent l'option de gestion applicable,
- et celles où l'option de gestion est choisie *a priori* et les analyses adaptées en conséquence.

Peu de publications abordent le sujet de la caractérisation des risques, qui dans le cas des sédiments doit combiner des informations de natures différentes, ce qui conduit à des approches qualitatives ou au mieux semi-quantitatives. Dans la mesure où les sources d'incertitude ne se limitent pas aux erreurs de mesure, une approche semi-quantitative apparaît là aussi plus adaptée. Les développements en cours, notamment en Amérique du Nord, visent des démarches comparatives d'évaluation des risques, ce qui permettrait de comparer directement plusieurs options de gestion (dragage puis dépôt en eau ou mise à terre, par exemple) plutôt que de procéder successivement. Une autre perspective innovante serait de caractériser les risques au regard des « services rendus » par les écosystèmes.

³⁷ Babut M., Martel L., Ciffroy P., et J-F. Féraud. Stratégies graduées d'évaluation des risques environnementaux induits par les sédiments fluviaux : revue bibliographique sur la caractérisation des risques et des incertitudes associées. *Déchets - revue francophone d'écologie industrielle* - n° 60 – 2011.



7.3.2 Evaluation des risques environnementaux dus aux sédiments contaminés : le logiciel Géodrisk®

En France, une démarche d'analyse des risques environnementaux dus aux sédiments contaminés a été proposée par GEODE. La démarche suivie (Figure 15) consiste à prendre successivement en considération :

- le danger potentiel de chaque contaminant,
- la toxicité mesurée du sédiment,
- la potentialité du transfert des contaminants à partir de la zone de dépôt,
- la sensibilité de l'écosystème récepteur.

Pour chacun des domaines ci-dessus, sont pris en considération des critères de risques spécifiques, auxquels sont attribuées des notes comprises entre zéro et trois, fixées à partir de données bibliographiques sur la biogéochimie et la toxicité des contaminants considérés.

Le logiciel d'aide à la décision **Géodrisk®** constitue l'applicatif de la démarche, en établissant un score de risque théorique basé essentiellement sur les résultats d'analyse des sédiments selon la législation en cours et à partir des connaissances établies (bibliographe) sur le devenir et les effets des contaminants.

Applicable à tous les sédiments dont un des contaminants dépasse au moins le niveau 1, Géodrisk® permet de discriminer les sédiments dragués selon leur niveau de contamination, leur toxicité potentielle et mesurée (Alzieu et Quiniou, 2002). Les résultats sont fournis sous la forme d'un score de risque (figure 9) qui permet à l'opérateur de suivre une démarche figurée par un arbre de décision.

Attention :

Le logiciel Géodrisk® ne peut être utilisé dans sa configuration actuelle. En effet il ne prend pas en compte les modifications récentes apportées aux seuils N1 et N2 ainsi que l'apparition de seuils relatifs aux HAP et aux PCB. Il n'intègre pas de ce fait les derniers paramètres et devra être actualisé. Il est néanmoins présenté ici afin d'illustrer la démarche que le logiciel applique à l'analyse des risques.

Figure 15 Démarche d'analyses des risques liés à l'immersion des boues de dragage des ports maritimes (source : C. Alzieu et F. Quiniou, IFREMER/GEODE, 2002)

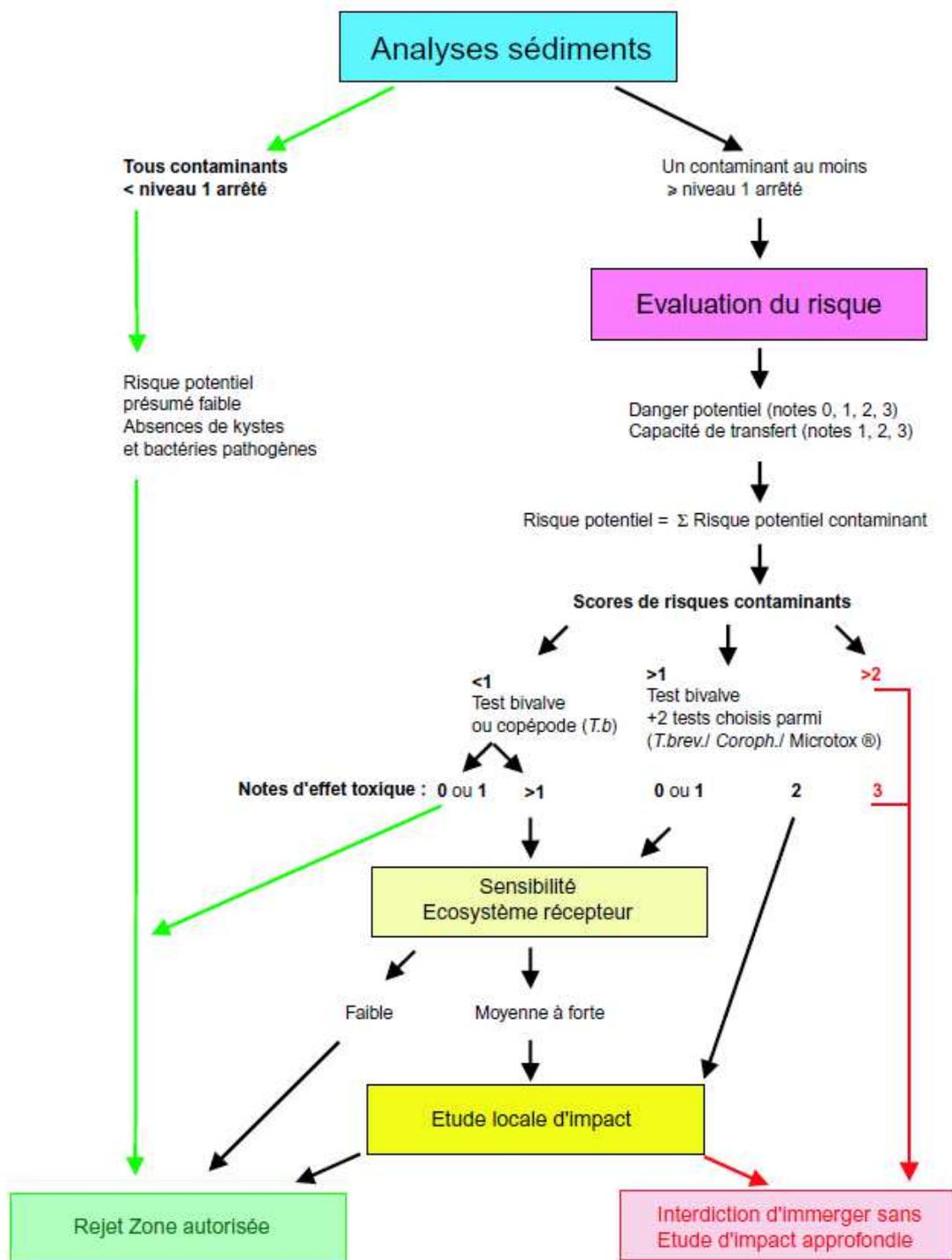




Figure 16 Exemple de score de risque issu du logiciel GEODRISK ®




Intervenant

COPRAMEX
 Environnement marin
 Enceinte Portuaire BP 40159
 13318 MARSEILLE CEDEX 15

contact
 téléphone 0491917947 fax 0491917948
 email copramex@copramex.com

Prélèvement

référence MCDC S15
 localisation Rade de Monaco
 date 13-11-2007
 laboratoire EUROFINS Environnement
 zone ouverte

Analyse

Contaminants

Arsenic As	13,8	As < N1	N1 = 25 N2 = 50
Cadmium Cd	1	Cd < N1	N1 = 1,2 N2 = 2,4
Chrome Cr	10,9	Cr < N1	N1 = 90 N2 = 180
Cuivre Cu	9,50	Cu < N1	N1 = 45 N2 = 90
Mercury Hg	5,67	Hg > N2	N1 = 0,4 N2 = 0,8
Nickel Ni	9,9	Ni < N1	N1 = 37 N2 = 74
Plomb Pb	24,5	Pb < N1	N1 = 100 N2 = 200
Zinc Zn	38,1	Zn < N1	N1 = 276 N2 = 552
PCB congénère 28	0,0010	CB 28 < N1	N1 = 0,025 N2 = 0,05
PCB congénère 52	0,0010	CB 52 < N1	N1 = 0,025 N2 = 0,05
PCB congénère 101	0,0010	CB 101 < N1	N1 = 0,05 N2 = 0,10
PCB congénère 118	0,0010	CB 118 < N1	N1 = 0,025 N2 = 0,05
PCB congénère 138	0,0010	CB 138 < N1	N1 = 0,05 N2 = 0,10
PCB congénère 153	0,0010	CB 153 < N1	N1 = 0,05 N2 = 0,10
PCB congénère 180	0,0010	CB 180 < N1	N1 = 0,025 N2 = 0,05
Somme des congénères	0,007		

Autres paramètres

TBT	1,35	µg Sn /kg de sédiment sec
Fluoranthène	920	µg/kg de sédiment sec
B(k)Fluoranthène	280	µg/kg de sédiment sec
B(b)Fluoranthène	520	µg/kg de sédiment sec
B(a)Pyrène	650	µg/kg de sédiment sec
B(ghi)Pérylène	500	µg/kg de sédiment sec
Indéno-Pyrène	540	µg/kg de sédiment sec

Score de risque

LE SCORE DE RISQUE EST FAIBLE
 Il est de : 0,7
 Il est calculé sur 9 élément(s)

Geodrisk - Evaluation des risques liés à l'immersion des déblais de dragage © 2001, Ifremer

7.3.3 Evaluation environnementale de l'opération de dragage et d'immersion

L'étude d'impact (article L 122-2 du CE) ou le document d'incidences sur l'eau (article L 214-1 et suivants du code de l'environnement) doivent, par référence aux prescriptions réglementaires, justifier que l'immersion constitue la solution la plus adaptée pour l'environnement par rapport à d'autres solutions envisagées (traitement des matériaux dans une filière terrestre, réemploi des matériaux, autres solutions).

L'étude d'impact, dans l'analyse de la zone et des milieux susceptibles d'être affectés par l'opération, recense toutes les connaissances acquises sur le site d'extraction et d'immersion, notamment la qualité géochimique des sédiments. C'est à ce stade que sera prise en considération ou précisée la sensibilité de la zone d'immersion envisagée au regard, d'une part des risques écotoxicologiques et d'autre part, des risques sanitaires induits par la contamination chimique et bactériologique des sédiments. Dans certains cas cette évaluation peut être complexe et faire appel, par exemple, à des modèles numériques de dispersion pour évaluer le transport des matériaux hors de la zone d'immersion.

→ **Pour en savoir plus** : GEODE / MEEDE. *Rédaction des études d'impact d'opérations de dragage et d'immersion en milieu estuarien et marin. Guide méthodologique.*

7.3.4 Evaluation des risques sanitaires

Volet obligatoire dans l'étude d'impact, l'évaluation porte sur les risques liés aux contaminants susceptibles d'être retrouvés dans les sédiments et présentant un danger pour la santé humaine, notamment s'ils sont remaniés par dragage.

Pour certaines substances d'intérêt sanitaire, des critères décisionnels ont pu être établis. Dans le cas de la contamination chimique des sédiments, ils correspondent à des concentrations repères dans les sédiments en deçà desquelles il n'est pas nécessaire de réaliser une étude des risques sanitaires (ERS), par référence à la méthode européenne du *Technical Guidance Document (TGD)*, basée sur la théorie des équilibres de partage.³⁸

Les critères décisionnels correspondent à des concentrations dans les sédiments en deçà desquelles il n'y a pas de risques sanitaires inacceptables pour la substance considérée. De façon à vérifier l'opportunité de réaliser une ERS pour les contaminants susceptibles d'être retrouvés dans les sédiments et présentant un danger pour la santé humaine, les résultats des analyses chimiques réalisées dans les sédiments sont mis en relation avec les critères décisionnels établis pour les substances d'intérêt sanitaire.

→ **Pour en savoir plus** : GEODE. *Guide pour l'évaluation des risques sanitaires des opérations de dragage et de rejet en mer de matériaux marins et estuariens.*

³⁸ Cette méthode a permis, dans les cas où les données étaient suffisantes, de définir des concentrations repères dans les sédiments permettant d'écarter, sur la base d'une approche substance par substance, un risque sanitaire inacceptable pour le scénario « consommation de poissons vivant au niveau du site d'immersion ». En effet, pour le milieu marin, la consommation de poissons et de produits de la mer constitue la seule voie d'exposition de l'homme aux substances chimiques (Ifremer-Ineris, 2005).



Annexes



Annexe 1 : Circulaire n° 2000-62 du 14 juin 2000 relative aux conditions d'utilisation du référentiel de qualité des sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire définis par l'arrêté interministériel



**MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT
DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT**
Direction de l'eau

**MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT,
DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT**
*Direction du transport maritime,
des ports et du littoral*

Circulaire n° 2000-62 du 14 juin 2000 relative aux conditions d'utilisation du référentiel de qualité des sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire défini par l'arrêté interministériel

NOR : *EQUK0010134C*

Documents sources : Arrêté du 14 juin 2000 relatif aux niveaux de référence à prendre en compte lors d'une analyse de sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire ;

Instruction technique sur le prélèvement et l'analyse des déblais de dragages du 24 mars 1988.
Document abrogé : instruction technique sur le prélèvement et l'analyse des déblais de dragages du 24 mars 1988.

Pièce jointe : une annexe technique. *La ministre de l'équipement, des transports et du logement à Mesdames et Messieurs les préfets (pour attribution : préfets de départements littoraux, DDE de départements littoraux, services maritimes, CQEL, chefs de MISE littorales ; pour information : préfets de régions littorales, DIREN de régions littorales, SD-CRE/G. Jourdiar, DOC/ R. Chiche, DGAD MJ).*

I. - OBJET DE LA CIRCULAIRE

L'objet est d'explicitier auprès des services de l'Etat et de ses établissements publics les conditions d'utilisation du référentiel de qualité défini par l'arrêté interministériel du 14 juin 2000 relatif aux niveaux de référence à prendre en compte lors d'une analyse de sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire (*JO* du 10 août 2000).

Ce référentiel commun doit permettre, - d'une part, d'harmoniser les interventions des services chargés du contrôle de la qualité de l'eau - et, d'autre part, de fournir des éléments de référence clairs permettant aux maîtres d'ouvrage d'optimiser leurs projets, notamment leurs opérations de dragage.

II. - PRÉSENTATION DU RÉFÉRENTIEL DE QUALITÉ

L'arrêté interministériel du 14 juin 2000 relatif aux niveaux de référence à prendre en compte lors d'une analyse de sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire reprend les seuils définis à l'issue d'études menées dans le cadre du groupe de travail GEODE qui réunit des opérationnels de la réalisation de projets et du contrôle de la qualité de l'eau, des experts scientifiques ainsi que des experts des ministères principalement concernés (équipement, environnement, défense). Ces seuils caractérisent la qualité chimique du matériau et contribuent à déterminer, le cas échéant, la démarche à retenir en termes d'études et de solutions techniques en fonction de la concentration au sein d'un matériau prélevé de diverses substances mentionnées aux tableaux I et II de l'arrêté.



Pour chaque substance, sélectionnée en fonction des connaissances et de sa représentativité en matière de potentiel d'impact sur le milieu naturel dans le cas de sédiments dragués destinés à être immergés, deux seuils ont été définis correspondant à des niveaux de potentiel d'impact croissant sur un même milieu.

III. - CONDITIONS D'UTILISATION DES SEUILS

Ces seuils constituent des points de repère permettant de mieux apprécier l'incidence que peut avoir l'opération projetée. Ainsi, au-dessous du niveau N1, l'impact potentiel est en principe jugé d'emblée neutre ou négligeable, les teneurs étant « normales » ou comparables au bruit de fond environnemental. Toutefois, dans certains cas exceptionnels, un approfondissement de certaines données peut s'avérer utile.

Entre le niveau N1 et le niveau N2, une investigation complémentaire peut s'avérer nécessaire en fonction du projet considéré et du degré de dépassement du niveau N1. Ainsi une mesure, dépassant légèrement le niveau N1 sur seulement un ou quelques échantillons analysés, ne nécessite pas de complément sauf raison particulière (par exemple toxicité de l'élément considéré : Cd, Hg, ...). De façon générale, l'investigation complémentaire doit être proportionnée à l'importance de l'opération envisagée. Elle peut porter, pour les substances concernées, sur des mesures complémentaires et/ou des estimations de sensibilité du milieu. Toutefois, le coût et les délais en résultant doivent rester proportionnés au coût du projet et le maître d'ouvrage doit intégrer les délais de réalisation des analyses dans son propre calendrier.

Au-delà du niveau N2, une investigation complémentaire est généralement nécessaire car des indices notables laissent présager un impact potentiel négatif de l'opération. Il faut alors mener une étude spécifique portant sur la sensibilité du milieu aux substances concernées, avec au moins un test d'écotoxicité globale du sédiment, une évaluation de l'impact prévisible sur le milieu et, le cas échéant, affiner le maillage des prélèvements sur la zone concernée (afin, par exemple, de délimiter le secteur plus particulièrement concerné). En fonction des résultats, le maître d'ouvrage pourra étudier des solutions alternatives pour réaliser le dragage, ou des phasages de réalisation (ex : réduire le dragage en période de reproduction ou d'alevinage de certaines espèces rares très sensibles).

IV. - ÉVALUATION - ACTUALISATION

Dans ce domaine pour lequel la doctrine technique et scientifique est en phase d'élaboration, il convient de conserver une relative souplesse. Aussi les conditions d'utilisation des seuils définies dans cette circulaire feront l'objet d'évaluations, sous l'égide de la direction de l'eau et de la direction du transport maritime, des ports et du littoral.

Cela permettra d'adapter, le cas échéant, sur la base des progrès réalisés en matière de connaissances techniques et scientifiques, les éléments méthodologiques et techniques exposés dans la présente circulaire.

Les niveaux de référence, fixés par l'arrêté interministériel, seront aussi, le cas échéant, actualisés et complétés en fonction de l'évolution des connaissances scientifiques et techniques, ainsi éventuellement que la liste des éléments et composés traces.

V. - Instructions générales d'échantillonnage et d'analyse des sédiments

Cette partie a pour objet de décrire un cadre opératoire de référence permettant d'organiser puis d'affiner, le cas échéant, une analyse de sédiments. Ces instructions s'inspirent notamment, pour les sédiments destinés à l'immersion, des lignes directrices sur la gestion des activités de dragage



adoptées dans le cadre de la convention d'OSPAR du 22 septembre 1992. Elles ont été élaborées en vue de l'évaluation des effets potentiels sur le milieu, entrant dans le cadre des études préalables à toute opération d'élimination de déblais de dragage. Elles devront être prises en compte lors de la définition des programmes de surveillance de l'environnement.

Les prélèvements et analyses visent à fournir une image représentative du site en exploitant au mieux les données recueillies. La connaissance du site est cumulative : les recueils de données successifs doivent permettre au cours des années de fournir une meilleure connaissance du site et de vérifier son évolution éventuelle. Le maître d'ouvrage pourra ainsi disposer d'outils :

- nécessaires à une politique d'ajustement des techniques et modalités de dragage ;
- pour, le cas échéant, prendre ou proposer les mesures visant à réduire les sources de contaminations.

La méthode de caractérisation adoptée comporte 3 phases.

Phase I : propriétés physiques

Dans tous les cas, les renseignements relatifs aux propriétés physiques doivent être déterminés car ces dernières permettent de connaître le comportement des sédiments pendant les opérations de dragage et d'élimination des matériaux, et de savoir si des analyses chimiques et/ou biologiques sont nécessaires.

Hormis la quantité de matériaux à éliminer, il est nécessaire de déterminer les éléments suivants :

- granulométrie (% sable, vase, argile), au minimum jusqu'à 63 µm et, dans la mesure du possible, quantification de la teneur inférieure à 2 µm ;
- pourcentage de matières sèches ;
- densité ;
- teneur en Al, sur la fraction inférieure à 2 mm ;
- matière organique exprimée sous forme de carbone organique total (COT), sur la fraction inférieure à 2 mm.

Au vu de ces résultats, les matériaux de dragage sont susceptibles d'être exemptés des autres phases d'analyses s'ils satisfont à l'un des critères stipulés ci-dessous :

- a) Ils sont composés de matériaux géologiques jusqu'alors intacts ;
- b) Ou b) Ils sont presque exclusivement composés de sable, gravier ou roche ; ou
- c) Le milieu dans lequel ils se trouvent se caractérise par l'absence de sources appréciables de pollution, ce qui doit être étayé par des analyses de micropolluants datant de moins de 3 ans.
- d) Les matériaux de dragage ne répondant pas à l'un de ces critères doivent faire l'objet d'une caractérisation plus poussée, afin de pouvoir apprécier leurs effets potentiels sur le milieu marin. Dans le cas d'un dépôt à terre, la caractérisation des phases II et III devra être adaptée.



Phase II : propriétés chimiques

Cette phase doit être réalisée dès lors que les matériaux ne répondent pas aux critères d'exemption.

Substances polluantes

On trouvera ci-après la liste détaillée des substances qu'il est nécessaire de doser lors d'une étude préalable.

- les éléments traces suivants seront systématiquement analysés sur la fraction inférieure à 2 mm : Arsenic (As), Chrome (Cr), Mercure (Hg), Plomb (Pb), Cadmium (Cd), Cuivre (Cu), Nickel (Ni), Zinc (Zn)

Il convient par ailleurs de doser les composés organiques/organométalliques suivants sur la même fraction :

- congénères des polychlorobiphényles suivants : 28, 52, 101, 118, 138, 153 et 180.
- hydrocarbures aromatiques polycycliques individuels (HAP) : naphthalène, acénaphthylène, acénaphthène, fluorène, phénanthrène, anthracène, fluoranthène, pyrène, benzo(a)anthracène, chrysène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(a)pyrène, dibenzo(ah)anthracène, benzo(ghi)pérylène, indéno 123-cd), pyrène.
- tributylétain et produits de sa dégradation.

Cependant, le dosage des PCB (polychlorobiphényles), des HAP ainsi que des composés de tributylétain et des produits de leur dégradation n'est pas nécessaire si des études de moins de 3 ans suffisent à prouver qu'il n'y a pas de contamination ou qu'il n'y pas de sources significatives (ponctuelles ou diffuses) de contamination ni d'apports historiques, que les sédiments sont pour l'essentiel grossiers, et que la teneur en carbone organique total est faible.

Selon les informations disponibles sur les sources de contamination (sources ponctuelles ou diffuses), ou sur les apports historiques, d'autres paramètres sont susceptibles de devoir être mesurés, comme par exemple d'autres chlorobiphényles, des pesticides organochlorés ou organophosphorés, d'autres agents antisalissures, radio activité...

Les contaminants organiques à doser seront sélectionnés parmi les listes existantes de substances prioritaires, telles que celles d'OSPAR et de l'Union européenne.

Enfin, et selon le cas, il peut s'avérer intéressant d'évaluer la présence de nutriments et la qualité bactériologique des matériaux.

Nutriments

Le dosage de N et P sera effectué si les matériaux sont déversés dans des zones sensibles à l'eutrophisation.

Microbiologie

Le dénombrement des germes témoins de contamination fécale sera effectué si les matériaux extraits sont susceptibles de porter atteinte à la salubrité des zones conchylicoles, de cultures marines ou de baignade.

Par ailleurs, il arrive, lors d'un renouvellement d'autorisation par exemple, que l'on dispose d'ores et déjà de renseignements suffisants pour pouvoir procéder à une caractérisation chimique. En pareil cas, il se peut qu'il ne soit pas nécessaire de mesurer de nouveau les effets potentiels de matériaux analogues, sous réserve que ces informations soient fiables, qu'elles aient été obtenues lors des



3 dernières années et que le contexte local, notamment en matière d'apports contaminants, n'ait pas été substantiellement modifié.

Phase III : caractérisation biologique

Dans certain cas de dépassement du niveau N 2, les impacts potentiels du matériau de dragage devant être immergé peuvent justifier des caractérisations biologiques en complément de la caractérisation chimique et physique.

Les analyses biologiques, adaptées au degré de contamination des matériaux à draguer, porteront notamment sur des espèces représentatives et considérées comme présentant une sensibilité suffisante, et devraient permettre de déterminer, en tant que de besoin, la toxicité aiguë et chronique, et le potentiel de bio-accumulation.

Le choix des méthodes d'analyse biologique portera de préférence sur des méthodes existantes normalisées et validées.

Ces analyses peuvent utilement être complétées par des observations des communautés benthiques sur le terrain.

Renseignements complémentaires

Le fait que des renseignements complémentaires soient nécessaires ou non dépend des conditions locales, ces renseignements pouvant cependant constituer un élément essentiel de la décision de gestion. Il peut s'agir par exemple : du potentiel redox, de la demande en oxygène des sédiments, du fer, du manganèse, de la minéralogie ou de paramètres destinés à normaliser les données des contaminants. Il convient aussi, le cas échéant, de considérer les modifications chimiques ou biologiques que les contaminants sont susceptibles de subir après l'élimination en mer.

Fiche bilan

Une fiche bilan présentée en annexe doit être renseignée par le maître d'ouvrage à la fin de chaque campagne. Ce document est adressé au service chargé de la police de l'eau qui le transmet à la direction du transport maritime des ports et du littoral afin d'alimenter des bases de données statistiques et permettre au gouvernement de répondre aux obligations qui incombent aux pays signataires des conventions OSPAR et de Barcelone.

Texte abrogé

La présente circulaire et ses instructions techniques portant sur le prélèvement et l'analyse des déblais de dragages abrogent et remplace l'instruction technique du 24 mars 1988 portant sur le prélèvement et l'analyse des déblais de dragages.

Pour la ministre de l'aménagement
du territoire et de l'environnement
et par délégation :
Le directeur de l'eau,
B. Baudot

Pour le ministre de l'équipement
des transports et du logement,
et par délégation :
Le directeur des transports maritimes,
des ports et du littoral,
C. Gressier



Instructions techniques portant sur le prélèvement et l'analyse des déblais de dragage

(Abroge la directive du 24 mars 1988)

I. - Echantillonnage

1. Responsables des programmes

Le plan d'échantillonnage et les prélèvements des matériaux dragués sont effectués sous la responsabilité du maître d'ouvrage de l'opération, le plan d'échantillonnage devant être déterminé en concertation avec le service chargé de la police de l'eau.

2. Maillage des prélèvements

a) La composition physique des échantillons, et par conséquent leurs propriétés chimiques et physiques, peut être fortement influencée par le choix des points d'échantillonnage, par la méthode d'échantillonnage et par la manipulation des échantillons. Ces influences éventuelles seront prises en considération lors de l'appréciation des données. Le maillage et la fréquence des prélèvements doivent répondre à un compromis permettant d'acquérir une connaissance satisfaisante des matériaux sans que la contrainte financière ou logistique ne devienne insupportable. On procédera à une étude *in situ* de la zone à draguer. La distribution et la profondeur de l'échantillonnage doivent refléter l'importance de la zone à draguer, le volume à draguer et la variabilité probable dans la distribution horizontale et verticale des contaminants. On prélèvera des carottes là où la profondeur du dragage et où la distribution verticale probable des contaminants le justifient, faute de quoi un prélèvement par benne preneuse ou plongeur est considéré comme adapté. Un échantillonnage à partir d'un puits de dragage est déconseillé.

b) On parle ici d'échantillons analysés. Chaque analyse doit en principe être réalisée sur chaque échantillon prélevé. Toutefois si les sédiments sont homogènes il est possible d'effectuer les analyses des échantillons moyens obtenus à partir de trois échantillons élémentaires prélevés d'une façon représentative de la zone considérée (voir fiche technique).

Des fractions aliquotes des échantillons élémentaires constitutifs des échantillons moyens doivent être conservées dans l'éventualité où de nouvelles analyses s'avèreraient nécessaires.

c) Les études antérieures ont montré qu'il existait de très nettes différences entre les résultats des analyses correspondant à des prélèvements effectués en chenal et en bassin fermé. Il est nécessaire de tenir compte de cet état de fait dans l'échantillonnage (maillage) et l'analyse de matériaux provenant de ces milieux.



Il est nécessaire de faire une distinction entre :

Zones à échanges libres

Pour ces zones, caractérisées par des échanges importants de masse d'eau dus à de forts courants et/ou à une agitation importante du plan d'eau (houle...), il a été convenu d'adopter la démarche suivante :

Volumes dragués en place (m ³)	Nombre de stations à prélever	Nombre d'échantillons à analyser (pour matériaux hétérogènes)	Nombre d'échantillons à analyser (pour matériaux homogènes)
< 25.000 m ³	3	3	1
25.000 ≤ < 100.000 m ³	4 - 6	4-6	2- 3
100.000 ≤ < 500.000 m ³	7 - 15	7-15	3- 5
500.000 ≤ < 2000.000 m ³	16 - 30	16-30	6-10
≥ 2.000.000 m ³	10 de plus par million de m ³ supplémentaire	10 de plus par million de m ³ supplémentaire	4 de plus par million de m ³ supplémentaire

Le nombre d'échantillons analysés correspond à des volumes dragués dans des conditions homogènes de site, de période et de chantier.

Les volumes dragués sont appréciés *in situ*.

Zones confinées

Ces zones sont caractérisées par un faible renouvellement des masses d'eaux. Entrent souvent dans cette catégorie les bassins portuaires fermés soumis à des apports (industriels, urbains, ...). Les analyses seront effectuées selon les modalités suivantes :

Volume à draguer	Nombre d'échantillons à analyser
< 5000 m ³	1
5.000 ≤ < 25.000 m ³	1 par 5.000 m ³
25.000 ≤ < 100.000 m ³	5 plus 1 par 25.000 m ³
≥ 100.000 m ³	8 plus 1 par 50.000 m ³

Ports de plaisance

Pour les ports de plaisance, il est tenu compte soit du volume à draguer défini pour les zones confinées, soit de la capacité d'accueil selon les modalités suivantes :

Capacité d'accueil	Nombre d'échantillons à analyser
<100 bateaux	1
100 ≤ <500 bateaux	2
500 ≤ < 1.000 bateaux	3
500 ≤ < 1.000 bateaux	4
≥ 1.000 bateaux	5

Le nombre d'échantillons à analyser correspond au critère le plus contraignant entre capacité d'accueil et volume à extraire.



3. Méthodes de prélèvement

Il s'avère nécessaire d'opérer une distinction entre :

- travaux neufs : les analyses sont effectuées sur chaque grand faciès de carottes prélevées pour l'étude géotechnique (à l'exception des faciès graveleux) ;

- dragages d'entretien : le prélèvement est effectué avant le début des travaux de façon à évaluer les risques potentiellement induits par les sédiments. Il sera réalisé *in situ* à l'aide d'une benne à main, par un plongeur, ... Toutefois, les techniques de carottage peuvent être utilisées en tant que de besoin.

4. Conditionnement, transport et conservation des échantillons

Les techniques généralement convenables pour le conditionnement et la conservation des échantillons doivent s'appuyer sur :

- les normes existantes au fur et à mesure de leur publication par transposition des textes ISO série 5667 ;

- les différents guides techniques existants (CEMAGREF, Agences de l'eau...) ;

- les fiches techniques du REPOM d'octobre 1997, dans l'attente d'une reconnaissance officielle de compétence à travers une accréditation selon la norme NF EN 45001 (l'élaboration d'un document COFRAC est en projet).

Toute précaution doit être prise pour éviter les contaminations des échantillons prélevés. L'absence de contamination doit être vérifiée aux différents stades de traitement des échantillons. Pour les carottes, il faut conserver séparément chaque grand faciès.



II. - ANALYSES

1. Laboratoires devant réaliser les analyses

Seuls peuvent effectuer les analyses les laboratoires agréés pour ce type de matériau par le ministère chargé de l'environnement selon les modalités définies par l'arrêté du 12 novembre 1998 pour les analyses effectuées à partir du 1^{er} janvier 2000.

2. Matériaux analysés

Les analyses d'éléments et composés seront effectuées sur la fraction dite totale mais limitée à la fraction inférieure à 2 millimètres obtenue par tamisage sur tamis ne présentant aucun risque de contamination pour l'échantillon.

3. Analyses à effectuer

La détermination des caractéristiques des sédiments et des éléments traces inorganiques énumérés en 4 a) et 4 b) est obligatoire.

Dans un premier temps, l'analyse de composés organiques et organo-métalliques énumérés en 4 c) ne sera effectuée que sur un échantillon sur trois. Les autres analyses ne devront être réalisées que si les résultats obtenus dépassent, soit le niveau N1 de l'arrêté quand ce niveau est défini, soit les seuils habituellement constatés quand le niveau N1 n'est pas défini.

4. Méthodes utilisées

Un projet de programme d'accréditation n° 156 (analyse de boues et de sédiments) est en cours de validation au COFRAC. Les méthodes préconisées devront évoluer au fur et à mesure de la normalisation et de l'évolution du programme COFRAC.

Pour les méthodes non normalisées, les méthodes reconnues par la profession telles que celles d'IFREMER peuvent être utilisées (accréditation hors programme).

D'autres méthodes peuvent être utilisées sous réserve d'être validées comme le stipule l'article 4 de l'arrêté du 12 novembre 1998.

a) Caractérisation du sédiment

Nota : Les normes et projets indiqués ci-dessus sont donnés à titre indicatif en tenant compte de l'état actuel d'avancement de la normalisation en ce domaine.

Carbone organique total (COT) :

- NF ISO 14 235 ;
- NF ISO 10 694 (X31 - 409).



Matière sèche :

- NF ISO 11 465 (X31 - 102) ;
- XP X 33 002.

Aluminium :

- Mise en solution : NFX 31 - 147 ;
- dosage : NF EN ISO 11 885.

Densité : méthode à faire valider.

Granulométrie : méthode à faire valider.

b) Eléments traces inorganiques

<i>Eléments à analyser</i>	<i>Mise en solution</i>	<i>Dosage</i>
<i>Cadmium</i>	<i>NFX 31-147 Pr X 33-010</i>	<i>NF EN ISO 5961 NF EN ISO 11 885</i>
<i>Chrome</i>	<i>NFX 31- 147 Pr X 33 010</i>	<i>NF EN ISO 1233 NF EN ISO 11 885</i>
<i>Cuivre - Nickel - Plomb</i>	<i>NFX 31 147 Pr X 33010</i>	<i>FDT 90 112 ou FDT 90119 NF EN ISO 11 885</i>
<i>Zinc</i>	<i>NFX 31 147 Pr X 33-010</i>	<i>NF EN ISO 11885 FDT 90 112</i>
<i>Arsenic</i>	<i>Pr X 33-010 Pr EN 308-003</i>	<i>NF EN ISO 11 969</i>
<i>Mercuré</i>	<i>Pr X 33-010 Pr EN 308-003</i>	<i>XPT 90 113-2 NF EN 12338 (T 90 113-3)</i>

c) Composés traces organiques

Les pesticides organochlorés, TBT et PCB seront recherchés. L'analyse des PCB est basée sur la recherche des congénères (principaux congénères recherchés : 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180).

L'analyse des HAP portera sur les composés individuels suivants : naphthalène, acénaphthylène, acénaphtène, fluorène, phénanthrène, anthracène, fluoranthène, pyrène, benzo(a)anthracène, chrysène, benzo(b) fluoranthène, benzo(k) fluoranthène, benzo(a)pyrène, dibenzo(ah)anthracène, benzo(ghi)pérylène et indéno (123-cd)pyrène.

Le TBT et ses produits de dégradation, le DBT et le MBT seront recherchés.

Dans l'état actuel de la normalisation, il existe une norme NF EN ISO 6468 (T 90 - 120) applicable aux eaux résiduaires et un avant-projet de norme pour le dosage des PCB et HAP dans les boues.

Les laboratoires devront donc valider leur méthode en interne. A cet effet, ils pourront s'inspirer du document 1133 du COFRAC : validation d'une méthode interne.



Note importante :

Lors d'essais sur les composés-traces organiques, les méthodes d'essais, leur validation interne, les rendements d'extraction, les incertitudes analytiques, les seuils de quantification ainsi que les résultats des tests interlaboratoires doivent être tenus à disposition du maître d'ouvrage et du service chargé de la police des eaux.

La limite de quantification doit être de 1 µg/kg sec (au minimum).

d) Nutriments

Azote Kjeldahl : NF ISO 11 - 261.

Phosphore : Pr X 33 010.

e) Microbiologie

Agrément 11 (100-2 COFRAC).

5. Note sur l'interprétation

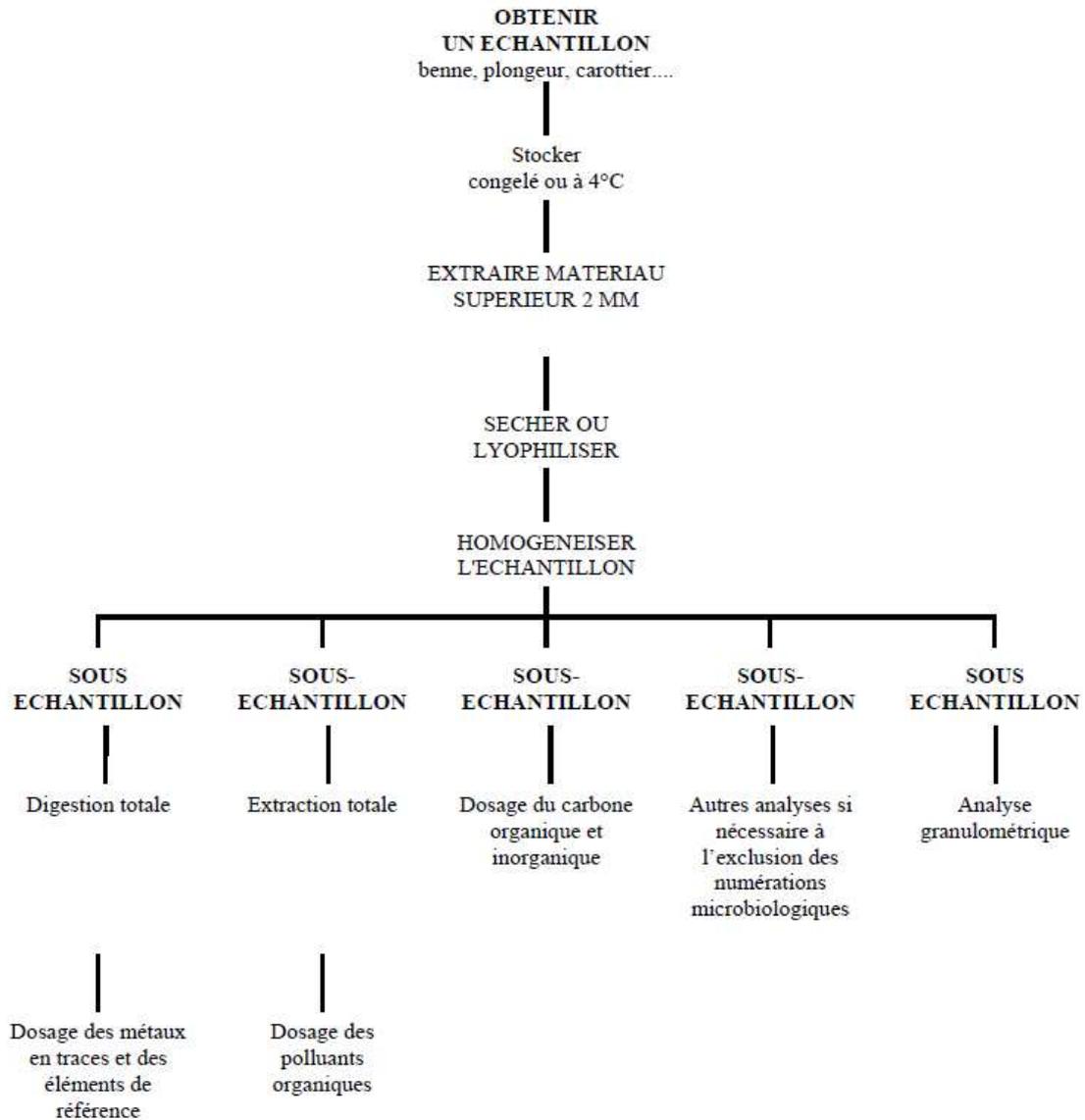
Dans l'état actuel de nos connaissances, l'interprétation des résultats devra être basée sur une comparaison par rapport aux seuils définis dans l'arrêté du..... relatif aux niveaux de référence à prendre en compte lors d'une analyse de sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire.

Une interprétation complémentaire pourra être envisagée :

- soit par comparaison avec des valeurs relatives aux sites eux-mêmes. Dans ce but, il appartiendra à chaque maître d'ouvrage de recueillir un ensemble de données de référence définissant les teneurs en éléments traces inorganiques et en composés-traces organiques des matériaux à l'origine, dans le temps et dans l'espace, de ceux du site considéré ;
- soit par normalisation des résultats notamment par rapport à la teneur en Al ou en COT.



TABEAU 1 STRATÉGIE TIPIQUE DE DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES SÉDIMENTS MARINS





FICHE BILAN

Une telle fiche est à transmettre pour chaque opération au service chargé de la police de l'eau.

I. - Caractérisation de la zone draguée

Localisation géographique (joindre plan).

Nom :

Nature de la zone : ouverte confinée port de plaisance

II. - Caractérisation du dragage

Nature : entretien approfondissement travaux neufs Autres

Méthode :

Date du dragage : début fin

Volume dragué *in situ* :

III. - Caractérisation de la zone de rejet ou d'immersion

Situation de la zone de rejet ou d'immersion :

- amont de limite de la mer
- amont ligne de base (eaux maritimes intérieures)
- aval ligne de base (eaux territoriales)

Coordonnées de la zone (joindre plan) : X Y

Profondeur :

Méthode d'immersion :

Méthode de rejet :

Tonnage clapé ou rejeté (tonnes de matière sèche) :

IV. - Prélèvement

Organisme préleveur :

Numéro d'ordre et localisation des échantillons selon le plan ci-joint

Technique de prélèvement :

- benne preneuse carottier plongeur
- autre (à préciser)

Nature (description visuelle) des prélèvements :

V. - ANALYSE

Laboratoire ayant effectué les analyses :

Le laboratoire devra fournir un rapport d'analyse conforme aux exigences de l'arrêté du 12 novembre 1998.



VI. - RÉSULTATS À COMMUNIQUER

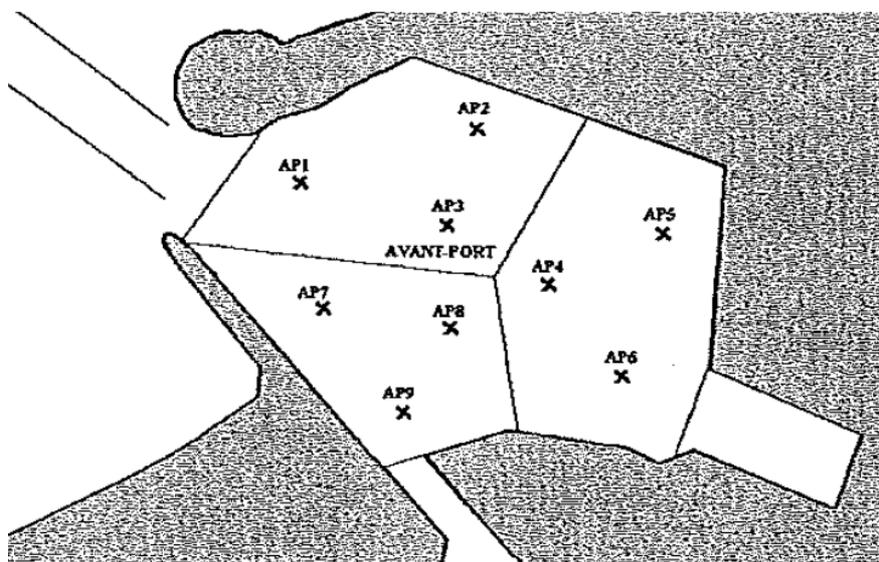
Paramètres	Méthodes	Echantillons					
		1	2	3	4	5	6
<p>- Caractérisation du sédiment</p> <p>% < 2mm</p> <p>% < 63 microns dans la fraction < 2 mm</p> <p>% < 2 microns dans la fraction < 2mm</p> <p>AI (mg/kg sec)</p> <p>Carbone organique total (%)</p> <p>Densité</p> <p>- Eléments traces inorganiques totaux sur fraction < 2 mm</p> <p>As (mg/kg sec)</p> <p>Cd (mg/kg sec)</p> <p>Cu (mg/kg sec)</p> <p>Cr (mg/kg sec)</p> <p>Hg (mg/kg sec)</p> <p>Ni (mg/kg sec)</p> <p>Pb (mg/kg sec)</p> <p>Zn (mg/kg sec)</p> <p>- Eléments traces organiques sur fraction < 2 mm</p> <p>PCB : Congénère N° 28 (□g/kg sec)</p> <p>52</p> <p>101</p> <p>118</p> <p>138</p> <p>153</p> <p>180</p> <p>HAP (□g/kg)</p> <p>naphtalène,</p> <p>acénaphylène,</p> <p>acénaphène</p> <p>fluorène,</p> <p>phenanthrène,</p> <p>anthracène,</p> <p>fluoranthène,</p> <p>pyrène,</p> <p>benzo(a)anthracène,</p> <p>chrysène,</p> <p>benzo(b)fluoranthène,</p> <p>benzo(k)fluoranthène</p> <p>benzo(a)pyrène,</p> <p>dibenzo(ah)anthracène,</p> <p>benzo(ghi)peryène</p> <p>indéno (123-cd)pyrène</p> <p>TBT (□g/kg)</p> <p>DBT (□g/kg)</p> <p>MBT (□g/kg)</p> <p>- Nutriments (mg/kg)</p> <p>N Kjeld.</p> <p>P. tot.,</p> <p>- Microbiologie (Nb/g)</p> <p>.....</p>	-						

FICHE TECHNIQUE**Modalités d'échantillonnages de sédiments effectués
préalablement à une opération de dragage**

Cette fiche technique a pour objet d'illustrer, par un exemple, les modalités d'échantillonnage et d'interprétation d'analyses de sédiments effectuées préalablement à une opération de dragage.

L'exemple présenté ci-dessous correspond au dragage de 400 000 m³ *in situ* de sédiments dans un avant-port. Sur la base de l'annexe technique (« Instructions techniques portant sur le prélèvement et l'analyse des déblais de dragage ») et pour un volume de 400 000 m³ à draguer dans une zone à échanges libres et des conditions homogènes de site, de période et de chantier, le nombre d'échantillons à prélever est compris entre 7 et 15 pour un nombre d'échantillons de matériaux homogènes à analyser compris entre 3 et 5. La figure 1 présente le plan d'échantillonnage validé par le service chargé de la police de l'eau du port considéré.

Figure 1. Plan d'échantillonnage



Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant. Trois échantillons issus du mélange de trois prélèvements dans des zones *a priori* homogènes ont été analysés. L'échantillon E3 issu du mélange des prélèvements AP7, AP8 et AP9 présente des niveaux de contamination globalement plus élevés que les échantillons E1 et E2 pour l'ensemble des contaminants analysés, notamment le cuivre (niveau supérieur au niveau 2 de la présente circulaire).



CHANTIER	AVANT PORT					
Volume in situ (m ³)	400 000					
Nombre de prélèvements	9					
Nombre d'échantillons analysés	3					
Dénomination des points	AP1, AP2, AP3	AP4, AP5, AP6	AP7, AP8, AP9			
Dénomination de l'échantillon analysé	E1	E2	E3	AP7	AP8	AP9
Métaux lourds (mg/kg sec)						
Hg	0.10	0.10	0.15	0.10	0.10	0.20
Cd	0.2	0.4	0.4	0.35	0.4	0.4
As	6.0	5.0	9.5	8	10	12
Pb	18	15	25	20	20	40
Cr	20	20	40	40	30	60
Cu	30	25	95	45	50	150
Zn	62	90	125	80	130	140
Ni	5	6	15	10	10	25
PCB 28 (µg/kg sec)	5	5	9	7	7	15

Les résultats de ces analyses montrent l'hétérogénéité d'une zone par rapport aux deux autres. La zone correspondant à l'échantillon E3, qui se distingue, nécessite une investigation complémentaire.

Sachant que les échantillons d'origine sont conservés jusqu'à ce que la procédure administrative soit menée à bien, des analyses complémentaires peuvent être conduites sur les échantillons AP7, AP8 et AP9 (cf. partie droite du tableau ci-dessus).

Ces analyses confirment l'hétérogénéité de la zone considérée.



Annexe 2 : Rubrique n° 4.1.3.0. de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement : dragage et/ou rejet y afférent en milieu marin



TITRE IV

IMPACTS SUR LE MILIEU MARIN

Au sens du présent titre, le milieu marin est constitué par :

- les eaux des ports maritimes et des accès aux ports maritimes sauf celles qui sont à l'amont, du front de salinité dans les estuaires de la Seine, de la Loire et de la Gironde,
- les eaux côtières du rivage de la mer jusqu'à la limite extérieure de la mer territoriale,
- les eaux de transition des cours d'eau à l'aval du front de salinité,
- les eaux de transition des canaux et étangs littoraux salés ou saumâtres,

Le front de salinité est la limite à laquelle, pour un débit du cours d'eau équivalant au débit de référence défini en préambule du présent tableau et à la pleine mer de vives eaux pour un coefficient supérieur ou égal à 110, la salinité en surface est supérieure ou égale à 1 pour 1 000.



4.1.3.0. Dragage et/ ou rejet y afférent en milieu marin :

1° Dont la teneur des sédiments extraits est supérieure ou égale au niveau de référence N2 pour l'un au moins des éléments qui y figurent **(A)** ;

2° Dont la teneur des sédiments extraits est comprise entre les niveaux de référence N1 et N2 pour l'un des éléments qui y figurent :

a) Et, sur la façade métropolitaine Atlantique-Manche-mer du Nord et lorsque le rejet est situé à 1 km ou plus d'une zone conchylicole ou de cultures marines :

I.- Dont le volume maximal in situ dragué au cours de douze mois consécutifs est supérieur ou égal à 50 000 m³ **(A)** ;

II.- Dont le volume maximal in situ dragué au cours de douze mois consécutifs est inférieur à 50 000 m³ **(D)** ;

b) Et, sur les autres façades ou lorsque le rejet est situé à moins de 1 km d'une zone conchylicole ou de cultures marines :

I.- Dont le volume maximal in situ dragué au cours de douze mois consécutifs est supérieur ou égal à 5 000 m³ **(A)** ;

II.- Dont le volume maximal in situ dragué au cours de douze mois consécutifs est inférieur à 5 000 m³ **(D)** ;

3° Dont la teneur des sédiments extraits est inférieure ou égale au niveau de référence N1 pour l'ensemble des éléments qui y figurent :

a) Et dont le volume in situ dragué au cours de douze mois consécutifs est supérieur ou égal à 500 000 m³ **(A)** ;

b) Et dont le volume in situ dragué au cours de douze mois consécutifs est supérieur ou égal à 5 000 m³ sur la façade Atlantique-Manche-mer du Nord et à 500 m³ ailleurs ou lorsque le rejet est situé à moins de 1 km d'une zone conchylicole ou de cultures marines, mais inférieur à 500 000 m³ **(D)**.

L'autorisation est valable pour une durée qui ne peut être supérieure à dix ans. L'autorisation prend également en compte les éventuels sous-produits et leur devenir.

Les rejets afférents aux dragages donnant lieu à des opérations d'immersion et dont les paramètres sont inférieurs aux seuils d'autorisation sont soumis à déclaration.

(A) Autorisation

(D) Déclaration



Annexe 3 : Fiche-type de prélèvement et de conditionnement des échantillons de sédiments

**PRELEVEMENT**

- Site de prélèvement
- Date et heures de prélèvement
- Conditions météorologiques
- Localisation des points de prélèvements élémentaires (coordonnées géographiques), accompagné du plan d'échantillonnage validé par le service instructeur
- Engin de prélèvement utilisé (photo)
- Nom et qualification des opérateurs
- Commentaires sur le déroulement de l'opération

ECHANTILLONNAGE

- Nombre de répliqués par station (et pour chaque carotte prélevée, le cas échéant)
- Echantillons supplémentaires pour le Contrôle Qualité

CONDITIONNEMENT

- Identification des échantillons
- Conditionnement (modalités, heure) et préparation éventuelle selon le paramètre à analyser
- Conservation : condition et durée

EXPEDITION et TRANSPORT

- Modalités d'expédition (emballage, chaîne du froid)
- Date et heure d'expédition
- Coordonnées du transporteur
- Traçabilité de l'acheminement (via internet)
- Laboratoire agréé de destination : nom, lieu
- Réception des échantillons : date, heure, nom du réceptionnaire (reçu) et toutes observations sur l'état des colis, enceintes, flacons, ...
- Respect de la chaîne du froid (température de l'échantillon ou de l'enceinte)

ANALYSES ET RESULTATS

- Date de réception des résultats
- Date de transmission des résultats au pétitionnaire



Annexe 4 : Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin. Définition du bon état écologique : Descripteur 8



L'objectif principal de la DCSMM est l'atteinte ou le maintien d'un bon état écologique (BEE) du milieu marin au plus tard en 2020. Pour cela, la Directive indique qu'il faut « *prévenir et réduire les apports dans le milieu marin afin d'éliminer progressivement la pollution telle que définie à l'article 3, point 8), pour assurer qu'il n'y ait pas d'impact ou de risque significatif pour la biodiversité marine, les écosystèmes marins, la santé humaine ou les usages légitimes de la mer.* »

La pollution (article 3, point 8) concerne l'introduction dans le milieu marin de substances, d'énergie, incluant l'énergie sonore pouvant entraîner des effets nuisibles sur les écosystèmes marins. Par ailleurs, il convient de préciser que la DCSMM reconnaît seulement deux états écologiques, le « bon état » et le « bon état non-atteint ».

La définition du bon état écologique relatif au **descripteur 8 « Le niveau de concentration des contaminants ne provoque pas d'effets dus à la pollution »** concerne les impacts en milieu marin provoqués par des substances chimiques d'origine anthropique. Pour le descripteur 8, il s'agit donc de définir les niveaux des substances chimiques n'affectant pas le bon fonctionnement des écosystèmes marins. Le concept de la nature d'un bon état écologique par rapport la contamination chimique du milieu marin n'est pas nouveau et il a été déjà élaboré dans le cadre des conventions sur les mers régionales (Helcom, Oskar et Barcelone), ainsi que, pour les eaux côtières et de transition, dans le cadre d'autres directives européennes : directive cadre sur l'eau (2000/60/CE) et surtout la directive établissant des normes de qualité environnementale dans le domaine de l'eau (2008/105/CE).

Les décisions de ces Conventions et de la Commission Européenne s'appuient sur ces travaux préalables qui sont donc une avancée considérable pour le descripteur 8. Un rapport ³⁹ pour la définition du BEE reprend ces schémas pertinents déjà construits. Cette avancée a également l'avantage de pouvoir proposer un schéma de la définition du BEE quasiment opérationnel et qui facilite grandement une harmonisation entre les Etats Membres.

Cependant, un premier point essentiel de la définition du BEE concerne le choix des indicateurs qui seront utilisés pour juger de son atteinte et maintien. Pour le descripteur 8, il s'agit (i) du choix des substances chimiques anthropiques, (ii) de la matrice (biote, sédiment, eau, échantillonneur passif, autre...) utilisée pour les rechercher et (iii) de la nature des effets biologiques et physiques qui seront suivis.

Le second point essentiel est la détermination des valeurs seuils, celles-ci permettant de déterminer le statut du BEE et le « basculement » d'un état à l'autre. Le choix des indicateurs est volontairement large et sera d'avantage affiné lors de l'élaboration du programme de surveillance. Les points faibles de l'évaluation du BEE avec le descripteur 8 et liés aux difficultés méthodologiques, scientifiques et pratiques sont également soulevés. Notamment grâce aux avancées méthodologiques OSPAR, une proposition des indicateurs (substances et leurs effets) est présentée dans le rapport référencé, ainsi qu'un schéma d'évaluation du BEE.

Pour plus de détails, se reporter à l'arrêté du 17 décembre 2012 relatif à la définition du bon état écologique des eaux marines et à ses annexes 1 (description du bon état écologique) et 2 (caractéristiques du bon état écologique des eaux marines).

³⁹ Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM). Définition du Bon Etat Ecologique (BEE) Rapport final pour le descripteur 8 « le niveau de concentration des contaminants ne provoque pas d'effets dus à la pollution ». Chef de file : J. Knoery et J. Tronczynski, IFREMER. Rapport final applicable à toutes les sous-régions marines françaises. Version du 23/01/2012 – finale.



Annexe 5 : DCE : Normes de qualité environnementale (NQE) pour les 33 substances prioritaires figurant à l'annexe X de la DCE et pour les 8 substances de la liste I de la directive 76/464⁴⁰

⁴⁰ Circulaire 2007/23 DE / MAGE / BLPDI du 7 mai 2007 définissant les « normes de qualité environnementale provisoires (NQE_p) » des 41 substances impliquées dans l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau ainsi que des substances pertinentes du programme national de réduction des substances dangereuses dans l'eau. Cette circulaire fixe également les objectifs nationaux de réduction des émissions de ces substances et modifie la circulaire DCE2005/12 du 28 juillet 2005 relative à la définition du « bon état »

Tableau A: « Normes de qualité environnementale provisoires (NQE_p) » à retenir pour les substances et familles de substances prioritaires figurant à l'annexe X de la DCE

N°UE (1)	N°UE DCE (2)	Nom de la substance	N° CAS (Chemical Abstracts Service)	NQE _p (µg/l) Eaux de surface intérieures (3)	NQE _p (µg/l) Eaux de transition (3)	NQE _p (µg/l) Eaux marines intérieures et territoriales(3)	Sédiments
	1.	Alachlore	15972-60-8	0,3	0,3	0,3	s.o.
3	2.	Anthracène	120-12-7	0,1	0,1	0,1	suivi
131	3.	Atrazine	1912-24-9	0,6	0,6	0,6	s.o.
7	4.	Benzène	71-43-2	10	8	8	s.o.
	5	Pentabromodiphényléther ⁶	32534-81-9	0,0005	0,0002	0,0002	suivi
12	6.	Cadmium et ses composés	7440-43-9	5	5 D ⁽⁴⁾	2,5 D ⁽⁴⁾	suivi
	7.	C10-13-chloroalcanes	85535-84-8	0,4	0,4	0,4	suivi
	8.	Chlorfenvinphos	470-90-6	0,1	0,1	0,1	suivi
	9.	Chlorpyrifos	2921-88-2	0,03	0,03	0,03	suivi
59	10.	1,2-Dichloroéthane	107-06-2	10	10	10	s.o.
62	11.	Dichlorométhane	75-09-2	20	20	20	s.o.
	12.	Di(2-éthylhexyl)phtalate (DEHP)	117-81-7	1,3	1,3	1,3	suivi
	13.	Diuron	330-54-1	0,2	0,2	0,2	s.o.
76	14.	Endosulfan	115-29-7	0,005	0,0005	0,0005	suivi
	15.	Fluoranthène	206-44-0	0,1	0,1	0,1	suivi
83	16.	Hexachlorobenzène	118-74-1	0,03	0,03	0,03	suivi
84	17.	Hexachlorobutadiène	87-68-3	0,1	0,1	0,1	suivi
85	18.	Hexachlorocyclohexane	608-73-1	0,1	0,02	0,02	suivi
	19.	Isoproturon	34123-59-6	0,3	0,3	0,3	s.o.
Métal	20.	Plomb et ses composés	7439-92-1	7,2	7,2	7,2	suivi
92	21.	Mercure et ses composés	7439-97-6	1	0,5 D ⁽⁴⁾	0,3 D ⁽⁴⁾	suivi
96	22.	Naphthalène	91-20-3	2,4	1,2	1,2	suivi
Métal	23.	Nickel et ses composés	7440-02-0	20	20	20	suivi
	24.	Nonylphénols	25154-52-3	0,3	0,3	0,3	suivi
	25.	Octylphénols	1806-26-4	0,1	0,01	0,01	suivi
	26.	Pentachlorobenzène	608-93-5	0,007	0,0007	0,0007	suivi
102	27.	Pentachlorophénol	87-86-5	2	2	2	suivi

⁶ Pour le groupe de substances prioritaires «diphényléthers bromés» (n 5) retenu dans la décision 2455/2001/CE, seul le pentabromodiphényléther fait l'objet d'une NQE.



N°UE (1)	N°UE DCE (2)	Nom de la substance	N° CAS (Chemical Abstracts Service)	NQE _p (µg/l) Eaux de surface intérieures (3)	NQE _p (µg/l) Eaux de transition (3)	NQE _p (µg/l) Eaux marines intérieures et territoriales(3)	Sédiments
99	28.	Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet	
		Benzo(a)pyrène	50-32-8	0,05	0,05	0,05	suivi
		Benzo(b)fluoranthène	205-99-2	Σ = 0,03	Σ = 0,03	Σ = 0,03	suivi
		Benzo(k)fluoranthène	207-08-9				suivi
		Benzo(g,h,i)perylène	191-24-2	Σ = 0,002	Σ = 0,002	Σ = 0,002	suivi
		Indeno(1,2,3-cd)pyrène	193-39-5				suivi
106	29.	Simazine	122-34-9	1	1	1	s.o.
	30.	Composés du tributylétain	688-73-3	0,0002	0,0002	0,0002	suivi
117 118	31.	Trichlorobenzènes (tous les isomères)	12002-48-1	0,4	0,4	0,4	suivi
23	32.	Trichlorométhane	67-66-3	12	12	12	s.o.
124	33.	Trifluraline	1582-09-8	0,03	0,03	0,03	suivi

(1) N°UE : le nombre mentionné correspond au classement par ordre alphabétique issu de la communication de la Commission européenne au Conseil du 22 juin 1982.

(2) N°UE DCE : le nombre mentionné correspond au classement issu de l'annexe X de la DCE

(3) Sauf mention contraire, il s'agit de la concentration totale dans les eaux.

(4) Concentration dissoute (après une filtration à 0,45 µm)

s.o. : sans objet car substance non hydrophobe ; suivi : car substance hydrophobe

Tableau B: « Normes de qualité environnementale provisoires (NQE_p) » à retenir pour les 8 substances et familles de substances de la liste I de la directive 76/464 et ne figurant pas à l'annexe X de la DCE

N°UE (1)	N°UE Projet directive fille (2)	Nom de la substance	N° CAS (Chemical Abstracts Service)	NQE _p (µg/l) Eaux de surface intérieures (3)	NQE _p (µg/l) Eaux de transition (3)	NQE _p (µg/l) Eaux marines intérieures et territoriales (3)	Sédiments
46	1.	DDT total	Sans objet	0,025	0,025	0,025	suivi
		para-para-DDT	50-29-3	0,010	0,010	0,010	suivi
1	2.	Aldrine	309-00-2	0,010	0,010	0,010	suivi
71	3.	Dieldrine	60-57-1	0,010	0,010	0,010	suivi
77	4.	Endrine	72-20-8	0,005	0,005	0,005	suivi
130	5.	Isodrine	465-73-6	0,005	0,005	0,005	suivi
13	6.	Tétrachlorure de carbone	56-23-5	12	12	12	s.o.
111	7.	Tétrachloroéthylène	127-18-4	10	10	10	s.o.
121	8.	Trichloroéthylène	79-01-6	10	10	10	s.o.

(1) N°UE : le nombre mentionné correspond au classement par ordre alphabétique issu de la communication de la Commission européenne au Conseil du 22 juin 1982.

(2) N°UE projet directive fille : le nombre mentionné correspond au classement issu du projet de directive fille substances pour ces substances qui ne font pas partie de l'annexe X de la DCE

(3) Sauf mention contraire, il s'agit de la concentration totale dans les eaux.

s.o. : sans objet car substance non hydrophobe ; suivi : car substance hydrophobe

Pour une substance donnée, une masse d'eau de surface est présumée conforme si, pour tout point de surveillance représentatif de cette masse d'eau, la moyenne arithmétique des concentrations dans l'eau de cette substance, mesurées à différentes périodes de l'année, est inférieure à la « norme de qualité environnementale provisoire (NQE_p) ».

Les NQE_p définies sont exprimées en concentration totale dans l'échantillon d'eau, sauf pour le cadmium, le mercure, le plomb et le nickel (ci-après dénommés «métaux»). En effet, pour ces métaux, les NQE_p se rapportent à la concentration de matières dissoutes, c'est-à-dire mesurées dans la phase dissoute d'un échantillon d'eau, obtenue par filtration à travers un filtre de 0.45 µm ou par tout autre traitement préliminaire équivalent.

Si la concentration en cadmium, mercure, plomb, ou nickel est supérieure à la NQE_p figurant dans le tableau A, les NQE_p à retenir pour juger de l'état chimique relativement à ces métaux sont présentées dans le tableau C ci-dessous et sont à ajouter au bruit de fond géochimique. Dans ce cas, la somme de la NQE_p et du bruit de fond géochimique représente la concentration maximale admissible par le milieu. L'estimation de la concentration du bruit de fond géochimique est basée sur la meilleure information disponible relative à la concentration dans le même type de milieu naturel soumis à une faible pression anthropique.



Annexe 6 : Liste des substances chimiques, des normes d'analyses et des limites de quantification associées au programme REPOM



Groupe de substances	Substance	code sandre paramètre	Méthodes d'analyse (liste non exhaustive)	code sandre méthode	Unité	Limite de quantification préconisée
Caractérisation du sédiment	Fraction < 2 mm	6264	Granulométrie laser (NF ISO 13320-1)	565	%	
			Tamassage voie humide	630	%	
	Fraction < 63 µm dans la fraction < 2 mm	3047	Granulométrie laser (NF ISO 13320-1)	565	%	
			Tamassage voie humide	630	%	
	Fraction < 2 µm dans la fraction < 2 mm	3050	Granulométrie laser (NF ISO 13320-1)	565	%	
			Tamassage voie humide	630	%	
	Aluminium total sur la fraction < 2 mm	1370	ICP OES (NF EN ISO 11885)	306	mg.kg-1	
	Carbone organique total sur la fraction < 2 mm	1841	Voie humide (NF ISO 14235) NF ISO 10 694 (X31-409)	593	g.kg-1 g.kg-1	
	Densité du matériau dragué	3398	Pesée simple sans préparation		sans unité	
			NF ISO 12880	599	%	
Éléments traces métalliques	Arsenic	1369	NF ISO 12879	645	%	
			XP X 33 002		%	
			Pesée après séchage à 105°C (NF ISO 11465) (X31-102)	445	%	
			ICP OES (NF EN ISO 11885)	306		
	Cadmium	1388	NF ISO 15586	425	mg.kg-1	<0,2 mg/kg
			Spectrométrie d'absorption atomique (NF EN ISO 11969) NF ISO 20280	338 338		
	Chrome	1389	Absorption atomique flamme (8) (NF EN ISO 5961) NF EN ISO 11885	339 306	mg.kg-1	<0,1 mg/kg
			NF EN ISO 15586 NF EN ISO 5961	425		
	Cuivre	1392	ICP OES (NF EN ISO 11885)	306	mg.kg-1	<0,2 mg/kg
			NF EN ISO 15586 NF EN 1233	425		
Etain	1380	ICP OES (NF EN ISO 11885)	306	mg.kg-1	<0,2 mg/kg	
		NF EN ISO 15586 FDT 90-119	425			
Mercure	1387	Absorption atomique sans flamme (four graphite) – NF ISO 15586 nf iso 17294	425 422	mg.kg-1	<0,2 mg/kg	
		Spectrométrie de fluorescence atomique (NF EN ISO 11885)	306			
		Spectrométrie de fluorescence atomique (NF EN ISO 12338)	321			
		Spectrométrie de fluorescence atomique (NF EN ISO 1483- T 90-113-1)	319	mg.kg-1	<0,01 mg/kg	
		Spectrométrie de fluorescence atomique (NF EN ISO 16772) Spectrométrie de fluorescence atomique (NF EN ISO 17852) NF EN 13506	603 682			
Méthyl-mercure	6408	Spectrométrie de fluorescence atomique (NF EN ISO 11885)	306	mg.kg-1	<1 µg/kg	
		Spectrométrie de fluorescence atomique (NF EN ISO 12338)	321			
		Spectrométrie de fluorescence atomique (NF EN ISO 1483- T 90-113-1)	319			
		Spectrométrie de fluorescence atomique (NF EN ISO 16772) Spectrométrie de fluorescence atomique (NF EN ISO 17852)	603 682			
Nickel	1386	ICP OES (NF EN ISO 11885)	306	mg.kg-1	<0,2 mg/kg	
Plomb	1382	FDT 90-112				
		FDT 90-119	306	mg.kg-1	<1,3 mg/kg	
Zinc	1383	ICP OES (NF EN ISO 11885)				
		ICP OES (NF EN ISO 11885) FDT 90-112	306	mg.kg-1	<0,2 mg/kg	



Groupe de substances	Substance	code sandre paramètre	Méthodes d'analyse (liste non exhaustive)	code sandre méthode	Unité	Limite de quantification préconisée
HAP*	HAP totaux	6136	Chromatographie gaz (XP X 33-012)	450	µg.kg-1	sans objet
	Anthracene	1458				<10 µg.kg-1
	Benzo(a)anthracène	1082				
	Benzo(a)pyrene	1115				
	Benzo(b)fluoranthene	1116				
	Benzo(g,h,i)perylene	1118				
	Benzo(k)fluoranthene	1117				
	Chrysène	1476				
	Fluoranthene	1191				
	Indeno(1,2,3-cd)pyrène	1204				
	Naphthalene	1517				
	Phénantrène	1524				
	Acénaphène	1453				
	Acénaphylène	1622				
	Fluorène	1623				
	Di-benzo (a,h)anthracène	1621				
Pyrène	1537					
organostanniques**	Tributylétain (TBT)	2879	Chromatographie gaz (NF T 90-250) NF ISO 23161	631 785	µgSn.kg-1	< 5 µg Sn.kg-1
	DBT	7074	NF ISO 23161	785	µgSn.kg-1	< 2 µg Sn.kg-1
	MBT	2542	Chromatographie gaz (NF T 90-250)	631	µgSn.kg-1	
	Triphénylétain-cation	6372	Chromatographie gaz (NF T 90-250) NF ISO 23161	631 785	µgSn.kg-1	< 5 µg Sn.kg-1

* Pour les HAP totaux, il s'agit de la somme des 16 HAP listés à l'arrêté du 8 février 2013, complémentaire à l'arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux ** Pour les organostanniques, il faut travailler en µgSn/kg et non en µgTBT/kg.



Groupe de substances	Substance	code sandre paramètre	Méthodes d'analyse (liste non exhaustive)	code sandre méthode	Unité	Limite de quantification préconisée
Organochlorés et apparentés	PCB totaux	7431	Chromatographie gaz (XP X 33-012)	450	µg.kg-1	sans objet
	CB28 (PCB)	1239				< 1 µg.kg-1
	CB52 (PCB)	1241				< 2 µg.kg-1
	CB101 (PCB)	1242				< 5 µg.kg-1
	CB118 (PCB)	1243				< 1 µg.kg-1
	CB138 (PCB)	1244				sans objet
	CB153 (PCB)	1245				< 5 µg.kg-1
	CB180 (PCB)	1246				< 1 µg.kg-1
	Alpha HCH	1200				< 10 µg.kg-1
	Béta HCH	1201				
	Gamma HCH	1203				
	delta HCH	1202				
	Aldrine	1103				
	Dieldrine	1173				
	Endrine	1181				
	Isodrine	1207				
	Hexachlorobenzene (HCB)	1199				
	DDT total*	7146				
	4,4'-DDT	1148				
	2,4'-DDT	1147				
4,4'-DDE	1146					
4,4'-DDD	1144					
Alpha endosulfan	1178					
Beta endosulfan	1179					
Endosulfan sulfate	1742					
Endosulfan total	1743					
Organophosphorés et apparentés	Trifluraline	1289			µg.kg-1	< 10 µg.kg-1
Phénols et dérivés	Nonylphenol (4-nonylphenol)	1958	Chromatographie gaz - Spectrométrie de masse (LMRouen)	151	µg.kg-1	< 10 µg.kg-1
	Octylphenol (4-(1,1', 3,3'-tetramethylbutyl)-phenol))	1959	Chromatographie gaz - Spectrométrie de masse (LMRouen)	151		
	Pentachlorophenol	1235	Chromatographie gaz (XP X 33-012)	450		
			Dosage d'alkylphénols (ISO 18857)	429		
	Tétrabromobisphénol-A (TBBP-A)	7131				

*DDT total = 4,4'DDT+2,4'DDT+4,4'DDE+4,4'DDD



Groupe de substances	Substance	code sandre paramètre	Méthodes d'analyse	code sandre méthode	Unité	Limite de quantification préconisée
Composés bromés	BDE-28 (PBDE)	2920	Chromatographie gaz - spectrométrie de masse - ionisation chimique négative (ISO 12010:2012)	700	µg.kg-1	< 5 µg.kg-1
	BDE-47 (PBDE)	2919				
	BDE-99 (PBDE)	2916				
	BDE-100 (PBDE)	2915				
	BDE-153 (PBDE)	2912				
	BDE-154 (PBDE)	2911				
	BDE-183 (PBDE)	2910				
	BDE-197 (PBDE)	5990				
	BDE-206 (PBDE)	à codifier				
	BDE-207 (PBDE)	à codifier				
	BDE-209 (PBDE)	1815				
	Hexabromocyclododécane (HBCD)	7128			µg.kg-1	< 10 µg.kg-1
	Alpha-HBCD	6651				< 3 µg.kg-1
Beta-HBCD	6652					
Gamma-HBCD	6653					
Phtalates	Di(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP)	1461	Chromatographie gaz - Spectrométrie de masse (LMRouen)	151	µg.kg-1	< 100 µg.kg-1
Dioxines dibenzo-p-dioxines polychlorées (PCDD)	2,3,7,8-T4CDD	2562	NF EN 1948-2 et 3HRGC/HRMS		µg.kg-1	< 0,001 µg.kg-1
	1,2,3,7,8-P5CDD	2569				
	1,2,3,4,7,8-H6CDD	2571				
	1,2,3,6,7,8-H6CDD	2572				
	1,2,3,7,8,9-H6CDD	2573				
	1,2,3,4,6,7,8-H7CDD	2575				
	1,2,3,4,6,7,8,9-O8CDD	2566				
Furanes dibenzofuranes polychlorées (PCDF)	2,3,7,8-T4CDF	2586				
	1,2,3,7,8-P5CDF	2588				
	2,3,4,7,8-P5CDF	2589				
	1,2,3,4,7,8-H6CDF	2591				
	1,2,3,6,7,8-H6CDF	2592				
	1,2,3,7,8,9-H6CDF	2594				
	2,3,4,6,7,8-H6CDF	2593				
	1,2,3,4,6,7,8-H7CDF	2596				
1,2,3,4,7,8,9-H7CDF	2597					
1,2,3,4,6,7,8,9-O8CDF	5248					



Annexe 7 : Exemple de rapport d'analyses géochimiques de matériaux de dragage



RAPPORT D'ANALYSE

Dossier N° : [REDACTED]

Version du : 13/04/2016

N° de rapport d'analyse : AR-16-LK-029255-01

Date de réception : 01/04/2016

Référence Dossier : N° Projet : PR01

Nom Projet: PR01-01

Référence Commande :

Coordinateur de projet client : [REDACTED]

N° Ech	Matrice		Référence échantillon
001	Sédiments	(SED)	CVP 1
002	Sédiments	(SED)	CVP 2
003	Sédiments	(SED)	CVP 3
004	Sédiments	(SED)	CVP 4
005	Sédiments	(SED)	CVP 5
006	Sédiments	(SED)	CVP 6



RAPPORT D'ANALYSE

Dossier N° : [REDACTED]

Version du : 13/04/2016

N° de rapport d'analyse : AR-16-LK-029255-01

Date de réception : 01/04/2016

Référence Dossier : N° Projet : PR01

Nom Projet : PR01-01

Référence Commande :

N° Echantillon	001 CVP 1 SED	002 CVP 2 SED	003 CVP 3 SED	004 CVP 4 SED	005 CVP 5 SED	006 CVP 6 SED
Référence client :						
Matrice :						
Date de prélèvement :						
Date de début d'analyse :	04/04/2016	04/04/2016	04/04/2016	04/04/2016	04/04/2016	04/04/2016

Préparation Physico-Chimique

LSA07 : Matière sèche	% P.B.	* 58.4	* 66.2	* 68.0	* 68.5	* 76.5	* 71.9
XXS07 : Refus Pondéral à 2 mm	% P.B.	* 7.93	* 6.94	* 8.96	* 5.05	* 4.70	* 2.95
XXS06 : Séchage à 40°C		* -	* -	* -	* -	* -	* -

Mesures physiques

LS08F : Granulométrie laser à pas variable (0 à 2 000 µm) - Tranches : 2 / 20 / 63 / 200 / 2000 µm							
Pourcentage cumulé 0.02µm à 2µm	%	* Cf détail ci-joint					
Pourcentage cumulé 0.02µm à 20µm	%	* Cf détail ci-joint					
Pourcentage cumulé 0.02µm à 63µm	%	* Cf détail ci-joint					
Pourcentage cumulé 0.02µm à 200µm	%	* Cf détail ci-joint					
Pourcentage cumulé 0.02µm à 2000µm	%	* Cf détail ci-joint					
LS918 : Masse volumique sur échantillon brut	g/cm³	1.62	1.70	1.79	1.80	1.80	1.81
LS995 : Perte au feu à 550°C	% MS	5.57	2.69	2.39	1.91	0.978	1.20

Analyses immédiates

LSL4H : pH H2O							
pH extrait à l'eau		8.7	9.00	9.0	9.0	9.0	9.0
Température de mesure du pH	°C	19	19	20	19	19	19

Indices de pollution

LS916 : Azote Kjeldahl (NTK)	g/kg MS	* 1.0	* -0.5	* 0.6	* -0.5	* -0.5	* -0.5
LS8KM : Carbone organique total (COT) par combustion sèche (Sédiments)	mg/kg MS	* 19500	* 3530	* 3490	* 1630	* <1000	* <1000

Métaux

XXS01 : M neralisation eau régale - Bloc chauffant		* -	* -	* -	* -	* -	* -
LS862 : Aluminium (Al)	mg/kg MS	* 9080	* 6260	* 8220	* 5520	* 2980	* 3400
LS865 : Arsenic (As)	mg/kg MS	* 10.9	* 7.54	* 9.62	* 7.02	* 5.47	* 5.38
LS874 : Cuivre (Cu)	mg/kg MS	* 87.0	* 8.37	* 8.65	* <5.00	* <5.00	* 5.40
LS881 : Nickel (Ni)	mg/kg MS	* 11.1	* 6.14	* 7.41	* 5.18	* 3.19	* 3.66
LS882 : Phosphore (P)	mg/kg MS	* 435	* 268	* 233	* 170	* 242	* 202
LS883 : Plomb (Pb)	mg/kg MS	* 122	* 12.9	* 14.1	* 9.22	* 10.6	* 29.9
LS894 : Zinc (Zn)	mg/kg MS	* 206	* 41.7	* 51.7	* 32.8	* 18.9	* 22.7
LSA09 : Mercure (Hg)	mg/kg MS	* 0.96	* -0.10	* -0.10	* -0.10	* -0.10	* -0.10
LS931 : Cadmium (Cd)	mg/kg MS	* 0.41	* -0.10	* -0.10	* -0.10	* -0.10	* -0.10





RAPPORT D'ANALYSE

Dossier N° : XXXXXXXXXX
 N° de rapport d'analyse : AR-16-LK-029255-01
 Référence Dossier : N° Projet : PR01
 Nom Projet: PR01-01
 Référence Commande :

Version du : 13/04/2016
 Date de réception : 01/04/2016

N° Echantillon	001	002	003	004	005	006
Référence client :	CVP 1	CVP 2	CVP 3	CVP 4	CVP 5	CVP 6
Matrice :	SED	SED	SED	SED	SED	SED
Date de prélèvement :						
Date de début d'analyse :	04/04/2016	04/04/2016	04/04/2016	04/04/2016	04/04/2016	04/04/2016

Métaux

LS934 : Chrome (Cr)	mg/kg MS	* 31.7	* 12.9	* 16.5	* 11.4	* 6.43	* 6.43
LSA6B : Phosphore total (P2O5)	mg/kg MS	996	615	534	388	554	463

Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs)

LSA33 : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (16 HAPs)							
Naphtalène	mg/kg MS	* 0.019	* 0.0064	* 0.0047	* 0.31	* 0.0044	* 0.0043
Acénaphthylène	mg/kg MS	* 0.041	* 0.01	* 0.015	* 0.022	* 0.0079	* 0.01
Acénaphthène	mg/kg MS	* 0.016	* 0.0053	* 0.007	* 0.033	* 0.005	* 0.0073
Fluorène	mg/kg MS	* 0.025	* 0.0039	* 0.0047	* 0.036	* 0.0029	* 0.0054
Phénanthrène	mg/kg MS	* 0.18	* 0.028	* 0.054	* 0.14	* 0.019	* 0.035
Anthracène	mg/kg MS	* 0.068	* 0.016	* 0.024	* 0.021	* 0.0089	* 0.012
Fluoranthène	mg/kg MS	* 0.53	* 0.12	* 0.2	* 0.15	* 0.067	* 0.098
Pyréne	mg/kg MS	* 0.52	* 0.088	* 0.16	* 0.12	* 0.06	* 0.076
Benzo(a)anthracène	mg/kg MS	* 0.39	* 0.085	* 0.14	* 0.1	* 0.056	* 0.071
Chrysène	mg/kg MS	* 0.36	* 0.1	* 0.15	* 0.11	* 0.076	* 0.085
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg MS	* 0.56	* 0.11	* 0.18	* 0.17	* 0.096	* 0.12
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg MS	* 0.25	* 0.038	* 0.052	* 0.046	* 0.028	* 0.032
Benzo(a)pyrène	mg/kg MS	* 0.51	* 0.11	* 0.19	* 0.14	* 0.086	* 0.097
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg MS	* 0.11	* 0.023	* 0.033	* 0.028	* 0.018	* 0.022
Benzo(ghi)Pérylène	mg/kg MS	* 0.4	* 0.056	* 0.1	* 0.095	* 0.049	* 0.065
Indeno (1,2,3-cd) Pyrène	mg/kg MS	* 0.45	* 0.061	* 0.12	* 0.1	* 0.052	* 0.072
Somme des HAP	mg/kg MS	4.4	0.86	1.4	1.6	0.64	0.81

Polychlorobiphényles (PCBs)

LSA42 : PCB congénères réglementaires (7)							
PCB 28	mg/kg MS	* <0.001	* <0.001	* <0.001	* <0.001	* <0.001	* <0.001
PCB 52	mg/kg MS	* 0.0033	* <0.001	* <0.001	* 0.0015	* <0.001	* <0.001
PCB 101	mg/kg MS	* 0.011	* <0.001	* <0.001	* 0.0024	* <0.001	* <0.001
PCB 118	mg/kg MS	* 0.0081	* <0.001	* <0.001	* 0.002	* <0.001	* <0.001
PCB 138	mg/kg MS	* 0.02	* <0.001	* <0.001	* 0.0019	* <0.001	* <0.001
PCB 153	mg/kg MS	* 0.025	* <0.001	* 0.001	* 0.0022	* <0.001	* <0.001
PCB 180	mg/kg MS	* 0.013	* <0.001	* <0.001	* <0.001	* <0.001	* <0.001
SOMME PCB (7)	mg/kg MS	0.08<x<0.081	<0.007	0.001<x<0.007	0.01<x<0.012	<0.007	<0.007

Organoétains

LSKPS : Injection GC/MS/MS - Extraction Acide acétique							
LS2GK : Dibutylétain cation (DBT)	µg Sn/kg MS	* 29	* <2.0	* <2.0	* <2.0	* <2.0	* <2.0
LS2GL : Tributylétain cation (TBT)	µg Sn/kg MS	* 100	* <2.0	* <2.0	* <2.0	* <2.0	* <2.0





RAPPORT D'ANALYSE

Dossier N° : ██████████
 N° de rapport d'analyse : AR-16-LK-029255-01
 Référence Dossier : N° Projet : PR01
 Nom Projet: PR01-01
 Référence Commande :

Version du : 13/04/2016
 Date de réception : 01/04/2016

N° Echantillon	001	002	003	004	005	006
Référence client :	CVP 1	CVP 2	CVP 3	CVP 4	CVP 5	CVP 6
Matrice :	SED	SED	SED	SED	SED	SED
Date de prélèvement :						
Date de début d'analyse :	04/04/2016	04/04/2016	04/04/2016	04/04/2016	04/04/2016	04/04/2016

Organoétains							
LS2IJ : Tétra butylétain (TeBT)	µg Sn/kg MS	<15	<15	<15	<15	<15	<15
LS2IK : Monobutyl étain cation (MBT)	µg Sn/kg MS *	27	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
LS2IL : Triphényl étain cation (TPhT)	µg Sn/kg MS *	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
LS2IM : Mono Octylétain cation (MOT)	µg Sn/kg MS *	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
LS2IN : Di Octylétain cation (DOT)	µg Sn/kg MS *	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
LS2IP : Tricyclohexyl étain cation (TcHexT)	µg Sn/kg MS *	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0

Observations	N° Ech	Réf client

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 8 page(s). Le présent rapport ne concerne que les objets soumis à l'essai.

Seules certaines prestations rapportées dans ce document sont couvertes par l'accréditation. Elles sont identifiées par le symbole *.

D : détecté / ND : non détecté

Les résultats précédés du signe < correspondent aux limites de quantification, elles sont la responsabilité du laboratoire et fonction de la matrice.

Laboratoire agréé par le ministère chargé de l'environnement : portée disponible sur <http://www.labeau.ecologie.gouv.fr>

Laboratoire agréé pour la réalisation des prélèvements et des analyses terrains et/ou des analyses des paramètres du contrôle sanitaire des eaux – portée détaillée de l'agrément disponible sur demande.

Laboratoire agréé par le ministre chargé des installations classées conformément à l'arrêté du 11 Mars 2010. Mention des types d'analyses pour lesquels l'agrément a été délivré sur : www.eurofins.fr ou disponible sur demande.



N° de rapport d'analyse : AR-16-LK-029255-01

Commande EOL : 0068153139916

Nom projet : PR01-01

Référence commande :

Sédiments

Code	Analyse	Principe et référence de la méthode	LQI	Unité	Incert.	Prestation réalisée sur le site de :
LS08F	Granulométrie laser à pas variable (0 à 2 000 µm) - Tranches : 2 / 20 / 63 / 200 / 2000 µm Pourcentage cumulé 0.02µm à 2µm Pourcentage cumulé 0.02µm à 20µm Pourcentage cumulé 0.02µm à 63µm Pourcentage cumulé 0.02µm à 200µm Pourcentage cumulé 0.02µm à 2000µm	Mesure de la taille des particules par granulométrie laser - MO/ENV/PS/17 - Méthode interne		% % % % %		
LS2GK	Dibutylétain cation (DBT)	GC-MS/MS [Dérivaison, extraction Solide/Liquide] - XP T 90-250	2	µg Sn/kg MS		
LS2GL	Tributylétain cation (TBT)		2	µg Sn/kg MS		
LS2IJ	Tétra-butylétain (TeBT)		15	µg Sn/kg MS		
LS2IK	Monobutylétain cation (MBT)		2	µg Sn/kg MS		
LS2IL	Triphénylétain cation (TPHT)		2	µg Sn/kg MS		
LS2IM	MonoOctylétain cation (MOT)		2	µg Sn/kg MS		
LS2IN	DiOctylétain cation (DOT)		2	µg Sn/kg MS		
LS2IP	Tricyclohexylétain cation (ToHexT)		2	µg Sn/kg MS		
LS862	Aluminium (Al)	ICP-AES [Minéralisation à l'eau régale] - NF EN ISO 11885 - NF EN 13346 Méthode B (Sol)	5	mg/kg MS		
LS865	Arsenic (As)	ICP-AES [Minéralisation à l'eau régale] - NF EN ISO 11885 - NF EN 13346 Méthode B	1	mg/kg MS		
LS874	Cuivre (Cu)	ICP-AES [Minéralisation à l'eau régale] - NF EN ISO 11885 - NF EN 13346 Méthode B (Sol)	5	mg/kg MS		
LS881	Nickel (Ni)		1	mg/kg MS		
LS882	Phosphore (P)		1	mg/kg MS		
LS883	Plomb (Pb)		5	mg/kg MS		
LS894	Zinc (Zn)		5	mg/kg MS		
LS916	Azote Kjeldahl (NTK)	Volumétrie [Minéralisation] - Adaptée de NF EN 13342 (Sols) - NF EN 13342	0.5	g/kg MS		
LS918	Masse volumique sur échantillon brut	Méthode interne		g/cm³		
LS931	Cadmium (Cd)	ICP-MS [Minéralisation à l'eau régale] - NF EN ISO 17294-2 - NF EN 13346 Méthode B	0.1	mg/kg MS		
LS934	Chrome (Cr)	ICP-MS [Minéralisation à l'eau régale] - NF EN 13346 Méthode B (Sol) - NF EN ISO 17294-2	0.1	mg/kg MS		
LS995	Perte au feu à 550°C	Gravimétrie - NF EN 12879	0.1	% MS		
LSA07	Matière sèche	Gravimétrie - NF EN 12880	0.1	% P.B.		
LSA09	Mercure (Hg)	CV-AFS [Minéralisation à l'eau régale] - NF EN 13346 Méthode B (Sol) - NF ISO 18772 (Sol) - Adaptée de NF ISO 18772 (Boue, Sédiments)	0.1	mg/kg MS		
LSA33	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (16 HAPs) Naphthalène Acénaphthylène Acénaphthène Fluorène Phénanthrène Anthracène	GC-MS [Extraction Hexane / Acétone] - NF ISO 18287 (Sols) - XP X 33-012 (boue, sédiment)	0.002	mg/kg MS		



Annexe technique

N° de rapport d'analyse : AR-16-LK-029255-01

Commande EOL : 0068153139916

Nom projet : PR01-01

Référence commande :

Sédiments

Code	Analyse	Principe et référence de la méthode	LQI	Unité	Incert.	Prestation réalisée sur le site de :
	Fluoranthène		0.002	mg/kg MS		
	Pyrène		0.002	mg/kg MS		
	Benzo(a)anthracène		0.002	mg/kg MS		
	Chrysène		0.002	mg/kg MS		
	Benzo(b)fluoranthène		0.002	mg/kg MS		
	Benzo(k)fluoranthène		0.002	mg/kg MS		
	Benzo(a)pyrène		0.002	mg/kg MS		
	Dibenzo(a,h)anthracène		0.002	mg/kg MS		
	Benzo(ghi)Pérylène		0.002	mg/kg MS		
	Indeno (1,2,3-cd) Pyrène		0.002	mg/kg MS		
	Somme des HAP			mg/kg MS		
LSA42	PCB congénères réglementaires (7)	GC-MS [Extraction Hexane / Acétone] - NF EN 16167 (Sols) - XP X 33-012 (boue, sédiment)				
	PCB 28		0.001	mg/kg MS		
	PCB 52		0.001	mg/kg MS		
	PCB 101		0.001	mg/kg MS		
	PCB 118		0.001	mg/kg MS		
	PCB 138		0.001	mg/kg MS		
	PCB 153		0.001	mg/kg MS		
	PCB 180		0.001	mg/kg MS		
	SOMME PCB (7)			mg/kg MS		
LSA6B	Phosphore total (P2O5)	Calcul - Calcul		mg/kg MS		
LSKP5	Injection GC/MS/MS - Extraction Acide acétique	GC-MS/MS -				
LSL4H	pH H2O pH extrait à l'eau Température de mesure du pH	Potentiométrie - NF EN 12176		°C		
LSSKM	Carbone organique total (COT) par combustion sèche (Sédiments)	Combustion [sèche] - NF EN 13137	1000	mg/kg MS		
XXS01	Minéralisation eau régale - Bloc chauffant	Digestion acide - NF EN 13346 Méthode B				
XXS06	Séchage à 40°C	Séchage - NF ISO 11464				
XXS07	Refus Pondéral à 2 mm	Gravimétrie - NF ISO 11464	1	% P.B.		

Tous les éléments de traçabilité sont disponibles sur demande

Méthodes de calcul de l'incertitude (valeur maximisée) : (A) : Eurachem (B) : XP T 90-220 (C) : NF ISO 11352 (D) : ISO 15767 (e) : Méthode interne

Annexe de traçabilité des échantillons

Cette traçabilité recense les flacons des échantillons scannés dans EOL sur le terrain avant envoi au laboratoire

N° de rapport d'analyse : AR-16-LK-029255-01

Commande EOL : 0068153139916

Nom projet : PR01-01

Référence commande :

Sédiments

Référence Eurofins	Référence Client	Date&Heure Prélèvement	Code-barre	Nom flacon
16E024833-001	CVP 1			
16E024833-002	CVP 2			
16E024833-003	CVP 3			
16E024833-004	CVP 4			
16E024833-005	CVP 5			
16E024833-006	CVP 6			



LS08F : Granulométrie laser a pas variable

NF EN ISO/IEC 17025:2005 COFRAC 1-1488
Methode interne MO/ENV/PS/17/V2

Référence de l'échantillon (Matrice) :
16e024833-001 (SED) - Average

Date de l'analyse :
mardi 12 avril 2016 10:56:09

Opérateur :
FAH7

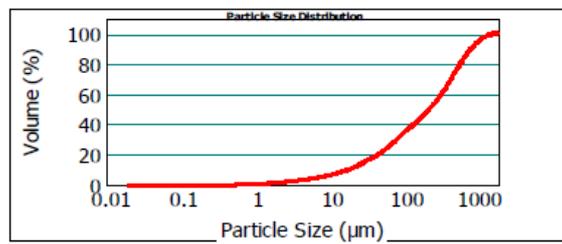
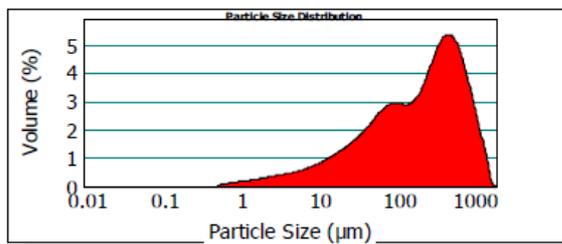
Résultat de la source :
Moyenne de 2 mesures

Données statistique

Surface spécifique : Moyenne : Médiane : Variance : Ecart type : Rapport moyenne/médiane : Mode :
0.202 m²/g 346.435 µm 234.651 µm 122295.193µm² 349.707 µm 1.476 µm 491.810 µm

* Pourcentages cumulés :
Pourcentage between 0.02 µm and 2.00 µm : 1.41%
Pourcentage between 0.02 µm and 20.00 µm : 10.97%
Pourcentage between 0.02 µm and 63.00 µm : 24.68%
Pourcentage between 0.02 µm and 200.00 µm : 46.48%
Pourcentage between 0.02 µm and 2000.00 µm : 100.00%

Pourcentages relatifs :
Pourcentage between 0.02 µm and 2.00 µm : 1.41%
Pourcentage between 2.00 µm and 20.00 µm : 9.57%
Pourcentage between 20.00 µm and 50.00 µm : 10.08%
Pourcentage between 50.00 µm and 200.00 µm : 25.43%
Pourcentage between 20.00 µm and 63.00 µm : 13.71%
Pourcentage between 63.00 µm and 200.00 µm : 21.80%
Pourcentage between 200.00 µm and 2000.00 µm : 53.52%



16e024833-001 (SED) - Average mardi 12 avril 2016 10:56:09

Table with 6 columns: Size (µm), Volume in %, Size (µm), Volume in %

Table with 6 columns: Size (µm), Vol Under %, Size (µm), Vol Under %

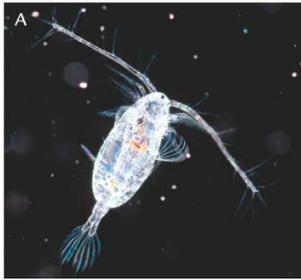
Paramètre d'analyse

Type d'instrument : Malvern Mastersizer 2000
Durée d'analyse : 2 x 30 secondes
Gamme de mesure : Préparateur Hydro MU
Indice de réfraction : 1.33
Logiciel : Malvern Application 5.60
Liquide : Water 800 mL
Modèle optique : Fraunhofer
Obscurité : 9.21 %
Vitesse de la pompe : 3000 rpm - L'alignement du laser est effectué avant chaque mesure



Annexe 8 : Détail des principaux tests d'écotoxicité appliqués à l'évaluation de la qualité des sédiments de dragage

Test de toxicité aiguë sur le copépode marin *Acartia tonsa*



Ce test est défini par la norme ISO/DIS 14669 (1996).

Il détermine, en conditions semi-statiques, les effets toxiques d'un échantillon de substance chimique, d'effluent ou d'eau sur une espèce de copépode d'eaux marines froides et d'eaux saumâtres. Les critères d'effet biologiques incluent la survie et le développement des animaux aux premiers stades de leur vie. L'exposition commence avec les œufs et se poursuit jusqu'à l'émergence des stades juvéniles. Ce test est réalisé sur les phases liquides (extraits aqueux de sédiment et d'eau interstitielle).

La toxicité aiguë est déterminée par le taux de mortalité des copépodes adultes enregistrée au bout de 24h et 48h après exposition aux milieux à tester constitués d'eau de mer ou de substances à différentes concentrations. La concentration provoquant en 48h, la mort de 50 % des copépodes exposés dans les conditions de l'essai est déterminée (CL50 - 48h).

Test de toxicité des sédiments sur l'amphipode *Corophium* sp.



Ce test est défini par la norme ASTM (E 724-94) (1993).

Ce test est réalisé directement sur les sédiments. La toxicité est déterminée par le taux de mortalité des amphipodes adultes (*C. volutator* ou *C. arenarium*) en contact des sédiments pendant 10 jours à différentes concentrations. La concentration qui entraîne la mort de 50 % des amphipodes (CL50) est déterminée avec un sédiment contenant des concentrations croissantes.

Test de toxicité aiguë sur le développement embryonnaire des bivalves *Mytilus edulis* (moule) et *Crassostrea gigas* (huître)



Ce test est défini par la norme ISO 17244 (2015). Il porte sur le développement embryonnaire d'œufs fécondés de bivalves, au stade de larve "D" qui correspond au début de l'évolution larvaire. La toxicité des sédiments est alors évaluée par le pourcentage d'anomalies du développement embryonnaire, voire un blocage dans leur développement, pour des expositions à des concentrations en sédiment comprises entre 0 et 10 g/l.

L'effet sur les larves de mollusques est évalué en recherchant la concentration en produit potentiellement toxique à laquelle on observe 50 % d'anomalies (CE50). Les LOEC (concentration la plus faible ayant montré un effet) et NOEC (concentration n'entraînant pas d'effet) peuvent également être calculées.

Ce test peut être réalisé sur sédiments, extraits aqueux ou eau interstitielle.

Cet essai convient pour des gammes de salinité allant de 20 à 40 pour les moules et de 25 à 35 pour les huîtres. Il est préconisé pour la grande sensibilité des invertébrés marins aux toxiques en phase de

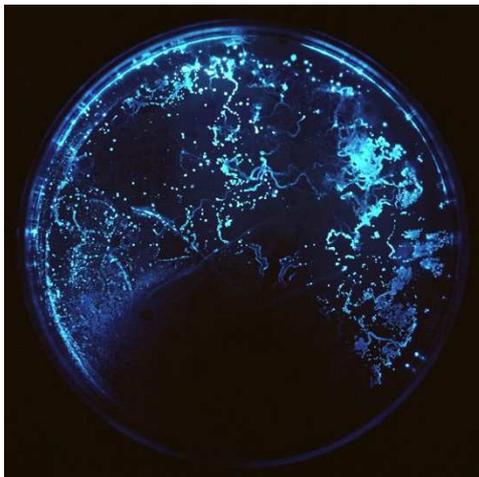
développement embryonnaire et pour sa capacité à discriminer différents niveaux de contamination des sédiments.

En fonction du pourcentage d'anomalies pour une concentration de 5 g/l de sédiment sec, une grille de notation du risque, indiquant le niveau de toxicité, a été établie par GEODE.

Classes de toxicité établies par GEODE

Note	Toxicité	Larves « D » anormales (%)
0	Négligeable	< 10
1	Faible	10 à 30
2	Moyenne	30 à 50
3	Forte	> 50
4	Très forte	Blocage du développement au stade embryon

Test d'inhibition de la luminescence de bactéries marines (Vibrio fischeri ou Microtox)



Ce test est défini par la norme (NF EN ISO 11348-3, 2009). Il repose sur la détermination de l'inhibition de la luminescence émise par une bactérie marine *Vibrio fischeri*, provoquée par la mise en contact avec la phase liquide de l'échantillon (eau interstitielle, lixiviats). Cet essai permet de déterminer la concentration d'échantillon (en %) qui, après 5 mn, 15 mn et 30 mn, inhibe 50 % de la luminescence des bactéries. Cette concentration est désignée par CE 50-t, « t » représentant le temps de contact des bactéries avec l'échantillon.



Bibliographie



Alzieu et *al.* 1999. Dragages et environnement marin : état des connaissances.

Alzieu et *al.* 2003. Bioévaluation de la qualité environnementale des sédiments portuaires et des zones d'immersion (2003).

Alzieu, C. et F. Quiniou. GEODRISK : la démarche d'analyse des risques liés à l'immersion des boues de dragage des ports maritimes. IFREMER / GEODE.

Andral B. et *al.* Evaluation de la contamination chimique et radiologique du sédiment. Les guides méthodologiques du RLM. IFREMER.

AQUAREF / INERIS. Guide des prescriptions techniques pour la surveillance physico-chimique des milieux aquatiques. Échantillonnage et analyse des eaux et des sédiments en milieu continental. Juin 2011.

Babut M., Martel L., Ciffroy P., et J-F. Férard. Stratégies graduées d'évaluation des risques environnementaux induits par les sédiments fluviaux : revue bibliographique sur la caractérisation des risques et des incertitudes associées. *Déchets - revue francophone d'écologie industrielle* - n° 60 – 2011.

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. Protocole pour la validation d'une méthode d'analyse en chimie, DR-12-VMC, Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2015, 29 p.

Chiffolleau J.-F. Bruits de fond géochimiques des métaux en milieu marin. IFREMER – centre de Nantes. Département de Biogéochimie et d'Écotoxicologie. *Premières journées « Micropolluants Aquatiques » ONEMA, 10-12 mars 2010.*

Claisse, D. Campagnes ROCCHSED. Protocole de prélèvements de sédiment. Mise à jour de septembre 2013. Centre Ifremer de Nantes / Département Biogéochimie et Écotoxicologie.

COFRAC. Nomenclature et documents techniques d'accréditation. Juin 2016.

Foucher, D. Géochimie du mercure dans des sédiments estuariens et côtiers : cas de la Seine (France) et de la baie de Kastela (Croatie). Décembre 2002.

Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM). Définition du Bon Etat Ecologique (BEE) Rapport final pour le descripteur 8 « le niveau de concentration des contaminants ne provoque pas d'effets dus à la pollution ». Chef de file : J. Knoery et J. Tronczynski, IFREMER. Rapport final applicable à toutes les sous-régions marines françaises. Version du 23/01/2012 – finale.

Ducauze C., Baillet-Guffroy A. et T.X. Bui. Choix et validation d'une méthode d'analyse. AGRITECH Paris, 30 p.



ENV. CANADA, 1994. – Document d'orientation sur le prélèvement et la préparation de sédiments en vue de leur caractérisation physico-chimique et d'essais biologiques – Rapport SPE 1/RM/29 – Série de la protection et de l'environnement – 178 p.

Geffard, O. Toxicité potentielle des sédiments marins et estuariens contaminés : évaluation chimique et biologique, biodisponibilité des contaminants sédimentaire. Décembre 2001.

GEODE. Rédaction des études d'impact d'opérations de dragage et d'immersion en milieu estuarien et marin. Guide méthodologique. EGIS. Août 2014.

GEODE. Evaluation des risques sanitaires des opérations de dragage et d'immersion en milieu estuarien et marin. Guide méthodologique. CEREMA. Août 2014.

GEODE. Suivis environnementaux des opérations de dragage et d'immersion. Guide méthodologique. EGIS. Décembre 2012.

Ghestem J.P., Lionard E., Margoum C. et P. Moreau. Limite de quantification d'une méthode d'analyse chimique d'un sédiment : propositions pour l'application de la norme NF T90-210. AQUAREF / BRGM. Septembre 2015.

Gourmelon, M. Etude de la contamination microbiologique du milieu littoral : identification des sources de contamination fécale et évaluation de la persistance des bactéries entériques dans l'environnement. IFREMER / UBO. Février 2014.

Guide d'échantillonnage des sédiments du Saint-Laurent pour les projets de dragage et de génie maritime. Volume 1 : Directives de planification. Direction de la Protection de l'Environnement. Environnement Canada. Région du Québec. Montréal, Québec. 2002.

Guide d'échantillonnage des sédiments du Saint-Laurent pour les projets de dragage et de génie maritime. Volume 2 : Manuel du praticien de terrain. Direction de la Protection de l'Environnement. Environnement Canada. Région du Québec. Montréal, Québec. 2002.

INERIS. Classification réglementaire des déchets. Guide d'application pour la caractérisation en dangerosité. INERIS-DRC-15-149793-06416A. Février 2016.

INERIS. Qualité chimique des sédiments marins en France : Synthèse des bases de données disponibles. INERIS-DRC-10-105335-11618A. Novembre 2011.

Le Grenelle de la Mer. Sédiments de dragage. Groupe n°11. Rapport final.

Lionard, E et M. Coquery. Proposition de limites de quantification pour la surveillance de substances prioritaires dans les sédiments. AQUAREF /IRTEA. Janvier 2013.

MEDTRIX. Une plateforme en ligne au service des experts du milieu marin. Surveillance des eaux côtières et des écosystèmes de Méditerranée. Guide méthodologique. www.medtrix.fr

Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie. Mise en œuvre de la directive cadre stratégie pour le milieu marin (DCSMM). Sous-programme 2 : contaminants chimiques dans le



milieu. Mise en œuvre du REPOM dans le cadre du programme de surveillance DCSMM : Thématique « contaminants ». Juin 2014.

Mouvet C., 2013. Test du protocole d'écotoxicologie (critère H14) pour l'évaluation du caractère dangereux de sédiments destinés à une gestion à terre. Rapport final. BRGM/RP-61420-FR, 55 p., 24 fig., 19 tabl., 2 ann.

Pineau S. et *al.* Transfert d'éléments constitutifs d'anodes sacrificielles aluminium-indium vers l'environnement. 5^{èmes} journées d'Aix de la protection cathodique. Juin 2011.

Plan d'action du bassin Rhône-Méditerranée pour la pollution par les PCB - SDAGE Rhône-Méditerranée 2010-2015. Recommandations relatives aux travaux et opérations impliquant des sédiments aquatiques potentiellement contaminés. DREAL Rhône-Alpes / IDRA Environnement. Septembre 2013.

REPOM. Cahier des charges pour la mise en œuvre du programme dès 2015. CEREMA. Janvier 2015.

Schiavone, S. et M. Coquery. Guide d'échantillonnage et de prétraitement des sédiments en milieu continental pour les analyses physico-chimiques de la DCE. AQUAREF/ CEMAGREF. Avril 2011.

Toulon Provence Méditerranée / Région PACA et Département du Var. Synthèse générale du projet scientifique et technique CARTOCHIM. Cartographie de la contamination chimique des sédiments de la rade de Toulon ». Mars 2015.

VNF. Opérations de dragage. Circulaire technique. Février 2012.

geode

Nous contacter

courriel : **geode@nantes.port.fr**

téléphone contact : **02 40 44 20 99**

Site internet : **<http://www.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/club-geode-r65.html>**